UEBER DIE

KALIBERVERHÄLTNISSE

DER

NERVENFASERN

VON

G. SCHWALBE.

LEIPZIG,
VERLAG VON F. C. W. VOGEL.
1882.

R52384

Vorwort.

Indem ich nachfolgende kleine Arbeit der Oeffentlichkeit übergebe, möchte ich bitten, sie als einen ersten Versuch zu betrachten, auf einem engbegrenzten Gebiet nach Gesetzen zu suchen, welche die Dimensionen der Elementarbestandtheile des Organismus beherrschen. Ich bin mir wohl bewusst, dass dies nur zum kleinsten Theil gelungen ist. Die Kaliberverhältnisse der Hirnnerven, die Veränderungen der Kaliber der Nervenfasern in ihrem Verlauf sind bisher von mir nur fragmentarisch behandelt; die bei dieser fragmentarischen Behandlung erhaltenen Ergebnisse machen keinen Anspruch auf definitiven Abschluss; sie deuten mehr an, dass für die Physiologie der Nervenelemente äusserst wichtige Dinge hier ermittelt werden können, und fordern zu genaueren Untersuchungen auf. Dagegen dürfte das, was ich über die Beziehungen zwischen Kaliber und Länge der Spinalnervenfasern gefunden habe, wohl fest genug begründet sein, um die Physiologen zu neuen Versuchen auf neuer Basis aufzufordern, nach etwaigen Unterschieden in der Leitungsgeschwindigkeit dickfaseriger und dünnfaseriger Nerven zu spüren.

Königsberg, im März 1882.

G. Schwalbe.

HERRN J. HENLE

ZUM

FÜNFZIGJÄHRIGEN DOCTORJUBILÄUM

AM 4. APRIL 1882

ALS FESTSCHRIFT GEWIDMET

VON DER

MEDICINISCHEN FACULTÄT DER ALBERTUS-UNIVERSITÄT

ZU KÖNIGSBERG i/P.

Digitized by the Internet Archive
in 2015

https://archive.org/details/b21991546

Hochverehrter Herr!

Vor fünfzig Jahren begannen Sie die Arbeiten, welche Ihren Namen zu einem der gefeiertsten in der anatomischen Wissenschaft gemacht haben. Ihrem Genius, Ihrer Thatkraft war es vorbehalten, in Ihrer allgemeinen Anatomie, in Ihrem Handbuch der Anatomie des Menschen Werke zu schaffen, welche in bisher unerreichter Weise ein anatomisches Lehrgebäude aufrichteten, die Wissenschaft mit einer Fülle neuer Thatsachen bereicherten, die zahllosen Einzelheiten anatomischer Beobachtungen kritisch sichteten, Alles zu einem harmonischen Ganzen verbanden. Eine unerschöpfliche Quelle der Belehrung haben Sie in diesen monumentalen Werken Ihren engeren Fachgenossen, eine solide Grundlage für jegliches anatomisches Wissen dem weiteren Kreise der Mediciner in die Hand gegeben. Sie haben dadurch auch uns, denen nicht das grosse Glück zu Theil geworden, Ihren Vorträgen beizuwohnen, zu Ihren dankbaren Schülern gemacht.

Dankend bitten wir Sie, am heutigen Tage, diese Blätter als ein geringes Zeichen unserer Verehrung entgegennehmen zu wollen.

Die medicinische Facultät der Albertus-Universität zu Königsberg i. Pr.

Einleitung.

Scheinbar regellos vertheilt sind Nervenfasern der verschiedensten Kaliber im peripheren Nervensystem. Bald finden sich innerhalb eines einzigen Nerven auf engem Querschnittsraume die verschiedensten Faserdicken einzeln durch einander gemischt, bald sind feinere Fasern bündelweise eingestreut zwischen Fasern gröberen Kalibers, bald endlich — und dies ist der seltenste Fall — findet eine grössere Gleichmässigkeit statt. Diese allbekannten Thatsachen scheinen von geringer Bedeutung, sie scheinen für die Function der leitenden Elementartheile des Nervensystems gleichgültig zu sein und keinen höheren Werth zu beanspruchen, als die Grössenunterschiede, welche z. B. die einzelnen Zellen epithelialer Lager erkennen lassen, und, wie letztere, zurückführbar auf Verschiedenheiten der Wachsthumsenergie, der Wachsthumswiderstände. Nach einer solchen Auffassung würde man in der That darauf verzichten müssen, den leitenden Faden in diesem Labyrinth von Grössenunterschieden zu finden, ein Gesetz aufzustellen, welches das Vorkommen der verschiedenen Nervenfaserkaliber beherrscht. Dass man sich aber nicht einfach mit jener resignirten Auffassung hat abfinden lassen, dass man vielmehr schon früh gefühlt hat, es müsse die verschiedene Dicke der Nervenfasern ganz bestimmte Ursachen haben, beweist eine flüchtige Durchsicht der Literatur über den feineren Bau des Nervensystems.

Es war der Gedanke einer specifischen Verschiedenheit der Nervenfasern, welcher zunächst eine grosse Zahl Bestimmungen von Nervenfaserdicken in den verschiedensten Gebieten des Nervensystems veranlasste. So wurde behauptet, dass die Fasern des Gehirns und Rückenmarks sich allgemein durch grössere Feinheit vor denen

des peripheren Nervensystems auszeichneten[1]); sie sollten beträchtlich dünner sein als die dünnsten der peripheren Nervenfasern. Eine specifische Verschiedenheit wurde ferner für die markhaltigen Nervenfasern des Sympathicus auf Grund zahlreicher Messungen von Bidder und Volkmann vertheidigt.[2]) Die genannten Forscher, welche sich gegen die nervöse Natur der von Remak entdeckten gelatinösen Fasern erklärten, begründeten ihre Klasse der specifischen sympathischen Nervenfasern auf die Feinheit der Kaliber, ein Verhalten, auf das schon früher Treviranus aufmerksam gemacht hatte.[3]) Endlich hat die Ansicht, es seien die Fasern der motorischen Wurzeln der Spinalnerven durch ihre grössere Stärke von denen der sensiblen Wurzeln unterschieden, vielfach Anerkennung gefunden. Eine genauere Prüfung aller dieser Angaben über die Beeinflussung der Kaliberstärke der Nervenfasern durch specifische Verschiedenheiten ihrer physiologischen Function soll unten bei der Mittheilung meiner eigenen Untersuchungen folgen. Hier sei jedoch gleich hervorgehoben, dass alle diese Angaben einer unbefangenen sorgfältigen kritischen Prüfung nicht Stand halten konnten. Die Unterscheidung verschiedener Arten von Nervenfasern durch ihre Kaliberverhältnisse erwies sich als unmöglich. Man stand also von Neuem dem Räthsel gegenüber, dessen Lösung hoffnungsloser denn je erschien. Nur unbestimmte Vermuthungen deuteten an, dass hier möglichenfalls dennoch ein der Lösung zugängliches Problem vorliege, wie die Aeusserung von W. Roux[4]): „Vielleicht ist auch die ungleiche Dicke der Nervenfasern, wie sie uns jeder Querschnitt eines Nervenstammes oder des Rückenmarks zeigt, durch ungleich starke Function bedingt."

Mir selbst wurde die Anregung zu einer Beschäftigung mit dieser Frage durch eine im Jahre 1879 erschienene kurze Mittheilung von

---

1) Z. B. Volkmann, Ueber die Faserung des Rückenmarks und des sympathischen Nerven in Rana esculenta. Müller's Archiv 1838. S. 277.

2) Die Selbständigkeit des sympathischen Nervensystems durch anatomische Untersuchungen nachgewiesen. Leipzig 1842.

3) Beiträge. Bd. I. Heft 2. 1835.

4) Der Kampf der Theile im Organismus. Leipzig. Engelmann 1881. S. 18.

Pierret[1]), welche die Grössenverhältnisse der centralen Nervenzellen behandelt. Seinen Untersuchungen zufolge steht die Grösse der Ganglienzellen im Gehirn und Rückenmark in direktem Verhältniss zu den Entfernungen, welche die von den Zellen ausgehenden motorischen Impulse oder die in den Zellen anlangenden sensitiven Erregungen durchlaufen müssen. Die grössten Ganglienzellen finden sich in der Lendenanschwellung des Rückenmarks und innerhalb der sogenannten motorischen Zone der Grosshirnrinde. In der Halsanschwellung des Rückenmarks sind die Zellen bereits kleiner und im Dorsalmark am kleinsten, entsprechend den Differenzen in der Länge der aus diesen Gebieten entspringenden Nerven. Für die motorischen Nervenzellen des Rückenmarks hat kürzlich Lüderitz[2]) das Pierret'sche Gesetz bestätigt. Er macht aber mit Recht darauf aufmerksam, dass Querschnitte oder Längsschnitte allein zur sicheren Begründung jenes Gesetzes nicht ausreichen, vielmehr Messungen beider nothwendig sind, da die Form der Ganglienzelle durch ihre Lage im Dorsalmark oder in den Anschwellungen auffallend beeinflusst wird. Eine Berechnung der relativen Volumina unter Zugrundelegung von Querschnitts- und Längsschnittsmessungen der Ganglienzellen ergab indessen ähnliche Unterschiede der Volumina derselben in den einzelnen Abschnitten des Rückenmarks, wie sie Pierret anführt. Ehe nun nicht eine ähnliche genauere Messung auch für die von Pierret angeführten Ganglienzellen des Gehirns vorliegt, müssen wir jedenfalls in der Anwendung dieser Zahlen vorsichtig sein, um so mehr, als es sich herausstellen wird, dass Pierret hier stillschweigend Voraussetzungen über die Länge der Nervenstrecken macht, die direkten Messungen gegenüber nicht Stand halten.

Doch ich habe es hier nicht mit einer eingehenden Kritik der

1) Sur les relations existant entre le volume des cellules motrices ou sensitives des centres nerveux et de la longueur du trajet qu'ont à parcourir les irritations qui en émanent ou les impressions qui s'y rendent. Compt. rend. T. 86. p. 1422—1425.

2) Ueber das Rückenmarkssegment. Archiv f. Anat. u. Physiol. Anat. Abth. 1881. Heft 6.

scharfsinnigen Erörterungen Pierret's zu thun. Die Ueberzeugung, dass für die einzelnen Abschnitte des Rückenmarks wenigstens das von ihm aufgestellte Gesetz zu Rechte besteht, war für mich Veranlassung genug, mich an die Beantwortung der Frage zu wagen, ob nicht auch für die Kaliberverhältnisse der Nervenfasern ähnliche Beziehungen zur Länge der Nervenstrecke sich auffinden liessen. Ich war mir der Schwierigkeit dieser Aufgabe wohl bewusst und suchte ihrer Beantwortung zunächst nur für das engere Gebiet des Rückenmarks und der Spinalnerven näher zu kommen. Meine ursprüngliche Idee war dabei, es möchte eine morphologische Compensation stattfinden. Denken wir uns den Wirbelthierkörper in seine Metameren (Segmente) zerlegt, so haben diese offenbar in den Extremitätenzonen eine ungleich grössere Breitenausdehnung, als in der Hals- und Brustgegend: die Nerven, welche den Extremitäten tragenden Metameren angehören, sind in Folge dessen bedeutend länger. Es war nun denkbar, dass diese auffallende Verlängerung der Extremitätennervenfasern in Folge einer Compensation dieses vermehrten Längenwachsthums von einer Abnahme ihres Kalibers begleitet sei. Es müssten in diesem Falle gerade die der Extremitäten entbehrenden Segmente die dicksten Nervenfasern, die langen Extremitätennerven dagegen die dünnsten führen. Es würde somit für die Nerven jedes Segments, so verschiedenartig es auch später gestaltet sein mag, stets dasselbe Material zur Verwendung gekommen sein. Allein diese Ansicht hat sich durch die Untersuchung nicht bestätigt. Es hat sich vielmehr gerade das Umgekehrte ergeben. Für die Spinalnerven gilt, wie ich alsbald näher begründen werde, der Satz, dass die Dicke der Nervenfasern in den Wurzeln der Spinalnerven abhängig ist von der Länge der Nervenstrecke, und zwar der Art, dass die dicksten Nervenfasern sich in den zu den längsten Nerven gelangenden Wurzeln finden. Mit der Länge der Strecke wachsen offenbar die Widerstände in den Nervenfasern, den leitenden Elementartheilen des Nervensystems. Es wächst aber unserem Gesetze nach auch der Querschnitt der einzelnen Leitungsfäden. Was liegt näher, dies mit einer Minderung des Leitungswiderstandes in Zusammenhang zu bringen,

an eine schöne, äusserst zweckmässige physiologische Compensation zu denken. Mit Hülfe dieses Gesetzes verstehen wir nun auch besser, als durch die Pierret'schen Deductionen, die von letzterem Forscher hervorgehobenen Grössenunterschiede der Ganglienzellen des Rückenmarks, wir werden an eine kurze Bemerkung von Deiters [1]) erinnert, der als Thatsache anführt, „dass die Grösse der (Nerven-) Zelle der Dicke des von ihr abgehenden Axencylinders proportional ist."

Ich habe bisher nur vom Kaliber der Nervenfasern in den Wurzeln der Spinalnerven gesprochen. Es gilt hier das eben formulirte Gesetz sowohl für die motorischen als sensiblen Nervenfasern, Dieser Anfangsquerschnitt, mit dem wir uns also in erster Linie zu beschäftigen haben, erleidet aber im Verlauf der Nervenstrecke bedeutende Modificationen. Ein besonderer Abschnitt der vorliegenden Arbeit wird also den Veränderungen des Querschnitts der Nervenfasern innerhalb der Strecke gewidmet sein. Bei der Untersuchung des Anfangsquerschnitts wird ferner zu erörtern sein, welche Modificationen unser Gesetz etwa erleidet 1) durch die Grösse der betreffenden Thiere, 2) durch die physiologische Qualität der Nervenfasern (sensibel, motorisch, central, sympathisch), und 3) durch häufigere oder seltenere Innervation, also durch reichlichen oder spärlichen Gebrauch. Bei der Besprechung dieser letzteren Verhältnisse werden wir uns vorzugsweise mit den Hirnnerven zu beschäftigen haben, deren Nervenfaserdicke weniger durch die Länge der Strecke, als die der Spinalnerven beeinflusst zu sein scheint.

---

1) Untersuchungen über Gehirn und Rückenmark. 1865. S. 98. Die hier citirte Beobachtung von Deiters vermag übrigens Laura (Sull' origine reale dei nervi spinali. Torino 1878. p. 18) nicht unbedingt zu bestätigen.

I.

Anfangsquerschnitt der Nervenfasern in den Wurzeln.

Bevor ich die zahlenmässige Begründung des von mir obenan gestellten Gesetzes der Nervenfaserkaliber gebe, wird es aus praktischen Gründen zweckmässig sein, zunächst den Einfluss, welchen etwa die Grösse der verschiedenen zur Untersuchung benutzten Thiere auf die Dickenunterschiede der Nervenfasern ausübt, zu prüfen.

I. Einfluss der Grösse des Thieres.

Nur gelegentlich habe ich die Frage, in wie weit die Kaliber der Nervenfasern von der Grösse der betreffenden Thiere abhängig seien, berührt. Es hat ja diese Frage streng genommen nichts mit der mir gestellten Aufgabe, die Ursachen für die Grössendifferenzen der Nervenfasern ein und desselben Thieres zu finden, zu thun, sondern fällt unter dieselben Gesichtspunkte, wie die nach der Grösse der histologischen Formelemente überhaupt bei Thieren von verschiedener Grösse. Bekanntlich hat sich hier längst ergeben, dass die Grösse der Thiere im Ganzen nur einen beschränkten Einfluss besitzt. Kleine Thiere, z. B. die Urodelen unter den Amphibien, besitzen bedeutend grössere zellige Elemente, als grosse Säugethiere. Es ist dies ja längst bekannt für die rothen Blutkörperchen. Unzweifelhaft zeigt sich hier ein Einfluss der Stellung im zoologischen System. Klasse, Ordnung, Familie und Gattung bestimmen oft eingreifender die Grössenverhältnisse, als das Volum der betreffenden Thiere selbst; letzteres scheint nur bei nahen

Verwandten zur Geltung zu kommen, überhaupt um so mehr von Einfluss zu sein, je näher die Stellung der untersuchten Thiere im System. Ganz ähnliche Gesichtspunkte gelten nun auch für die Kaliberverhältnisse der Nervenfasern verschiedener Thiere, wie sich schon aus dem geringen, von mir hier zusammengestellten Material ergeben wird. Ich bemerke dabei ausdrücklich, dass in dieser und den folgenden Angaben zunächst immer nur markhaltige Nervenfasern gemeint sind.

Tabelle I.

Grössenschwankungen der Nervenfaserdicken verschiedener Thiere.
(Maasse in Millimetern).

Species	Beobachter	Minimum	Maximum	Differenz
Mensch	Kölliker[1])	0,001	0,020	0,019
„	Key und Retzius[2])	0,002	0,0168	0,0148
„	ich	0,0018	0,0234	0,0216
„	Reissner[3])	0,002	0,023	0,021
Hund	Key und Retzius	0,004	0,0144	0,0104
Kaninchen	Key und Retzius	0,0032	0,0176	0,0144
Vesperugo pipistrellus	ich	0,0018	0,0081	0,0063
Buchfink	Key und Retzius	0,0016	0,0112	0,0096
Rana esculenta	Key und Retzius	0,0032	0,016	0,0128
„	ich	0,0018	0,0189	0,0171
Salamandra maculosa	ich	0,0036	0,0108	0,0072
Hecht	Key und Retzius	0,0048	0,0168	0,0120

Aus vorstehender Tabelle ergibt sich beim ersten Anblick eine vollständige Unabhängigkeit der Nervenfaserkaliber von der Grösse des Thieres. Mensch und Frosch haben dieselben Minima und nahezu dieselben Maxima. Sie stehen aber in der Wirbelthierreihe weit auseinander. Zur Prüfung der Frage, ob innerhalb derselben Klasse oder

1) Kölliker, Gewebelehre. 5. Auflage.

2) Key und Retzius, Studien in der Anatomie des Nervensystems und des Bindegewebes. Zweite Hälfte. Stockholm 1876.

3) Neurologische Studien. Arch. von Reichert und du Bois-Reymond. 1862.

Ordnung die Grösse des Thieres einen Einfluss auf die Dicke der Nervenfasern ausübt, reicht unsere Tabelle leider noch nicht aus. Nur das ist ersichtlich, dass die kleine Fledermaus in der That nicht die Hälfte des Maximum erreicht, welches für die Nervenfasern des Menschen gefunden worden ist. Auch die Nervenfasern des Buchfinken sind verhältnissmässig fein. Ein für unsere weitere Untersuchung wichtiges Factum erfahren wir aber aus jener Zusammenstellung. Vergleichen wir die Minima und Maxima bei den verschiedenen Thieren, so finden wir, dass einige, wie z. B. der Mensch und der Frosch, sich durch grosse Differenzen (0,0216 bezw. 0,0171) der Dicken auszeichnen, während bei anderen, vor allen bei der kleinen Fledermaus, diese Differenz noch nicht die Hälfte jenes Werthes erreicht (0,0063). Es ist nun aber klar, dass der Einfluss der Länge der Nervenstrecke auf die Kaliber der Nervenfasern um so deutlicher zum Ausdruck gelangen wird, — wenn er überhaupt existirt — je grösser die Differenzen zwischen Maximum und Minimum bei demselben Thiere sind. Kommen dazu noch besonders grosse Differenzen in der Länge der Nervenstrecke, so wird unser Gesetz besonders klar hervortreten. Mensch und Frosch besitzen erstere Eigenschaft. Der Frosch ist überdies noch dadurch ausgezeichnet, dass die Differenzen seiner Nervenstrecken grösser sind, als beim Menschen. Es wird also der Frosch ein besonders günstiges Objekt für unsere Untersuchung abgeben. Die durch die grossen Streckendifferenzen bevorzugte Vesperugo pipistrellus verliert dagegen als Untersuchungsobjekt an Werth durch die geringeren Differenzen ihrer viel feineren Nervenfasern.

Schliesslich noch einige Worte über individuelle Schwankungen der Kaliberwerthe der Nervenfasern. Dieselben können ziemlich bedeutend sein. Während ich beim Menschen in einem Falle das Maximum der Dicke der Spinalnervenfasern den Werth von 18 μ nicht überschreiten sah, constatirte ich in einem anderen Falle Dicken bis 23,4 μ. Harting[1]) fand noch grössere Werthe, — bis 31,4 im N. cruralis einer 1,664 m langen Frau. Harting berichtet über Messungen, die an den Nervenfasern des

1) Recherches microscopiques p. 70.

Medianus und Cruralis von 3 Individuen verschiedener Grösse ausgeführt wurden. Es ergab sich, dass eine direkte Beziehung der Nervenfaserdicke zur Grösse des Individuums nicht constatirt werden konnte. Das kleinste von 1,485 m Länge hatte dickere Fasern als ein Individuum von 1,535 m Länge. — Auch beim Frosch vermochte ich individuelle Verschiedenheiten nachzuweisen; die grössten Maxima fanden sich hier allerdings bei dem grössten untersuchten Thiere.

II. Einfluss der Länge der Nervenstrecke.

Um den Einfluss der Länge der Nervenstrecke auf die Kaliberverhältnisse kennen zu lernen, stellte ich mir zunächst die Aufgabe, womöglich an einem Thiere für sämmtliche Spinalnervenwurzeln die Minima und Maxima der Nervenfaserkaliber, sowie die am häufigsten vorkommenden Fälle zu bestimmen. Damit aber diese Aufgabe mit Erfolg gelöst werden könnte, waren verschiedene Vorbedingungen zu erfüllen. Das Thier musste 1) eine geringe Zahl von Spinalnervenpaaren besitzen; 2) innerhalb dieser grosse Differenzen der Nervenlängen zeigen; 3) nicht zu gross sein, damit die Zahl der innerhalb einer Wurzel befindlichen Nervenfasern nicht unübersehbar werde, und endlich 4) relativ grosse Unterschiede zwischen Maximum und Minimum der Nervenfaserdicken zeigen. Alle diese Voraussetzungen erfüllt nun der Frosch auf das Beste. Ich habe mich desshalb hauptsächlich an ihn (Rana esculenta) gehalten und nur vergleichsweise einige andere Wirbelthiere, besonders den Menschen, mit in die Untersuchung hineingezogen. Von den Hirnnerven sehe ich einstweilen ab. Ich werde sie in einem folgenden Abschnitt noch zu berühren haben. Dagegen erstreckt sich meine Untersuchung in gleicher Weise auf ventrale und dorsale Wurzeln und gibt desshalb zu gleicher Zeit Antwort auf die Frage nach etwaigen Verschiedenheiten motorischer und sensibler Nervenfasern.

Die geeignetste Methode, eine zur Lösung unserer Aufgabe genügende Zahl von Messungen an den Nervenfasern der Wurzeln sämmtlicher Spinalnerven vorzunehmen, scheint in der Herstellung feiner Querschnitte zu bestehen. Ich habe jedoch beim Frosch von der

Zählung auf Querschnitten Abstand genommen, und zwar aus folgenden Gründen. Erstens sind die technischen Schwierigkeiten sehr erhebliche, da es sich um die Aufgabe handelt, sämmtliche Spinalnervenwurzeln [1]) einer Seite ohne Alteration ihrer Nervenfasern heraus zu präpariren. Sodann hat aber die Bestimmung der Nervenfaserdicken an Querschnitten manche Hindernisse zu überwinden. Es sind bekanntlich im Querschnitt eines Spinalnerven nicht alle Nervenfasern quer getroffen, in Folge einer weit verbreiteten, geflechtartigen Anordnung der Nervenfaserbündel erscheinen viele schräg geschnitten; diese werden leicht zu grosse Maasse ergeben. Eine Bestimmung der wahren Maxima der Nervenfaserdurchmesser wird auch dadurch erschwert, dass bei geringen Grössenunterschieden die dickere Faser am Querschnitt leichter übersehen wird, als in der Längsansicht. Die nur durch geringe Durchmesserdifferenzen charakterisirten Nervenfasern eines Bündels machen an Querschnitten viel mehr den Eindruck gleicher Dicke, als bei der Zerfaserung in der Längsansicht. Da man nicht alle messen kann, so ist man oft im Zweifel, welche die dicksten sind. Endlich übersieht man an Querschnitten leicht die feinsten Nervenfasern oder kann sie nicht von Querschnitten faseriger Elemente des Bindegewebes unterscheiden, wie auch W. Krause [2]) angibt. Es soll damit der Werth der Querschnittsuntersuchungen für die Frage nach der räumlichen Vertheilung feiner und gröberer Fasern im Nervenstamme nicht herabgesetzt werden. Immerhin genügen aber die angegebenen Bedenken, um für den Frosch eine andere, weniger zeitraubende, technisch leichtere Methode zu bevorzugen, die einer Isolirung der einzelnen Wurzeln auf chemischem Wege und Zerfaserung derselben. Es ist dies die Maceration des ganzen Thieres in Salpetersäure von 20 % bei 40 ° C., deren

1) Ich folge bei der Zählung der Spinalnerven von Rana der üblichen, in Ecker's Anatomie des Frosches, 2. Abth. (mit Beiträgen von Wiedersheim), durchgeführten. Der hier als erster Spinalnerv (oder N. hypoglossus) bezeichnete entspricht dem zweiten Spinalnerven der Urodelen nach Fürbringer. Wie Wiedersheim finde ich an diesem N. spinalis I auch eine dorsale Wurzel (Anatomie des Frosches II. S. 14), die allerdings von grosser Feinheit ist.

2) Ueber die Fasern des Sehnerven. Arch. f. Ophthalmol. Bd. XXVI, 2. S. 105.

Vorzüge für die Untersuchung der makroskopischen Verhältnisse des Nervensystems ich an einem anderen Orte [1]) ausführlich erörtert habe. Dieselbe Methode ist auch zur Isolirung der histologischen Elemente vortrefflich geeignet, wenn man gewisse Vorsichtsmaassregeln beobachtet. Der Rumpf des betreffenden Frosches wurde aus der Salpetersäure in ein seiner Grösse genügendes Glasschälchen mit Wasser übertragen, das Wasser aber nicht wieder erneuert, da bei weiterem Auswaschen die Nervenfasern weich werden, das Nervenmark abbröckelt. Bei dem angegebenen Verfahren lassen sich die einzelnen Nervenwurzeln leicht so weit in ihre Nervenfasern zerlegen, dass man nichts Wesentliches übersieht. Dabei behalten die Nervenfasern, wie Controluntersuchungen an Ueberosmiumsäure-Nervenfasern zeigten, ihre normalen Dimensionen bei; nur sind sie sehr brüchig, soweit ihre Markscheide in Betracht kommt, auch leicht zu zerdrücken. Man muss desshalb das Deckgläschen unterstützen. An derartigen Präparaten maass ich in jeder Wurzel meist 20 bis 30 Nervenfasern, so dass also bei Annahme von 20 Messungen innerhalb einer jeden Wurzel für sämmtliche Spinalnervenwurzeln einer Seite 400 Messungen auszuführen waren. Die Messungen selbst wurden bei System F von Zeiss mittelst eines Ocularmikrometers No. II ausgeführt, dessen Theilstrichswerth bei der genannten Vergrösserung 1,8 μ betrug. Es wurden dabei vor Allem die gröbsten und feinsten Fasern herausgesucht, im Uebrigen aber die beliebig sich darbietenden Nervenfasern aus den verschiedensten Theilen des Präparates in ihren Durchmessern aufgeschrieben. So erhielt ich ein Material, welches jedenfalls über die Minima und Maxima der Nervenfaserdicken genaue Auskunft gab. Auf die Maxima aber wird es für die Entscheidung der mir gestellten Frage hauptsächlich ankommen. Denn, stehen wirklich die Nervenfaserkaliber in bestimmter Beziehung zur Länge der Nervenstrecke, so ist es klar, dass sich in den Wurzeln, welche in lange Extremitätennerven übergehen, alle möglichen Kaliber finden können, da ja diese Nerven

1) Das Ganglion oculomotorii. Jenaische Zeitschr. f. Naturwissensch. Bd. XIII. S. 177 ff.

auf ihrem langen Wege successive Zweige von kürzerer Weglänge abgeben. Nervenwurzeln dagegen, welche Nerven von geringerer Weglänge angehören, werden zwar dieselben Minima besitzen können, aber nicht so hohe Maxima zeigen. Es werden also die Maxima besonders maassgebend sein. Aus dem übrigen Material suchte ich die den häufigsten gemessenen Fällen entsprechenden Durchmesserzahlen heraus, welche innerhalb ansehnlicher Werthe schwanken können. Sie sind in unseren Tabellen in eine dritte Columne aufgenommen. Zum Ueberfluss berechnete ich dann noch die Mittelwerthe der Kaliber. Nicht brauchbar sind aber die aus Maximum und Minimum allein abgeleiteten Mittelwerthe. Es kann ja innerhalb dieser Grenzen die Vertheilung der Durchmesserwerthe eine sehr verschiedene sein, indem die häufigsten Fälle entweder näher dem Minimum oder näher dem Maximum sich zusammendrängen können, oder auch gleichmässig vertheilt zwischen beiden gefunden werden. Die wahren Mittelwerthe würde man somit erst durch Berücksichtigung der Durchmesser sämmtlicher Nervenfasern einer Wurzel gewinnen. Da nun eine solche Messung nicht auszuführen war, so begnügte ich mich, sämmtliche von mir gemessenen Durchmesser der Nervenfasern einer Wurzel zu addiren und durch die Zahl der gemessenen Fälle zu dividiren. Jedenfalls mussten die so gefundenen Mittelzahlen genauer ausfallen, als die allein aus Minimum und Maximum berechneten. Eine besondere Tabelle gibt über beide Auskunft.

So viel über die Principien, nach denen ich die zahlreichen Messungen der Nervenfaserkaliber in den Spinalnervenwurzeln des Frosches übersichtlich geordnet habe. Die unten folgenden Zusammenstellungen werden also stets Minima, Maxima und häufigste Fälle neben einander enthalten.

Neben der Salpetersäuremaceration habe ich vielfach zur Zerlegung der Nervenstämmchen in ihre einzelnen Fasern mich einer Methode bedient, die mir in der histologischen Technik eine weitgehende Verwerthung zu besitzen scheint. Sie besteht darin, die betreffenden Nervenstämmchen zunächst in Ueberosmiumsäure von 1 % zu färben und zu erhärten. Nach 24 Stunden werden sie mit Wasser

ausgewaschen und dann in Glycerin, das mit Salzsäure angesäuert ist, gelegt, um dann mindestens 24 Stunden im Brütofen bei 40° C. zu verweilen. Die Nerven werden dabei unter voller Conservirung ihrer Fasern so leicht zerlegbar, dass oft schon Schütteln des Präparates in einem auf dem Objektträger befindlichen Tropfen Glycerin genügt, um einen vollen Zerfall in die einzelnen Nervenfasern zu erzielen. Der Zusatz von Salzsäure zum Glycerin muss für die Nerven der Säugethiere bedeutender sein, als für die der Amphibien, der Aufenthalt im Brütofen ein längerer. Während beim Frosch Glycerin mit 1% der käuflichen starken Salzsäure und 24stündige Brütofenbehandlung genügt, sind zur Zerstörung der bindegewebigen Elemente bei den Säugethieren Glycerin mit 3% derselben Salzsäure, sowie ein zwei- bis dreitägiges Verweilen bei 40° C. nothwendig. Die Erhaltung der Nervenfasern lässt bei dieser Methode nichts zu wünschen übrig. Ich habe sie vielfach auch schon für die Isolation anderer mikroskopischer Gebilde von Vortheil gefunden, z. B. für die Isolirung von Ganglienzellen. Ich kenne keine Methode, mittelst deren z. B. die Spiralfaser der Ganglienzellen des Froschsympathicus so leicht zu demonstriren ist, als die eben beschriebene. Mir ist es auf diese Weise leicht gelungen, die von Key und Retzius aufgestellte Behauptung, dass die Spiralfaser zu einer markhaltigen Nervenfaser wird, zu bestätigen, sowie die bereits an einem anderen Orte[1]) von mir kurz erwähnte Beobachtung zu machen, dass die gerade Faser sich nach Art eines Deiters'schen Protoplasmafortsatzes theilt. Ich glaube, diese Andeutungen werden genügen, um es zu rechtfertigen, wenn ich meine Macerationsmethode für Isolationen der Elementartheile des Nervensystems angelegentlichst empfehle.

Ich theile nunmehr zunächst die Resultate meiner Messungen mit, die ich an den Spinalnervenwurzeln dreier Frösche nach Salpetersäuremaceration angestellt habe.

---

1) Neurologie. S. 985. Anmerkung.

Tabelle II.

Frosch I.

1. Ventrale Wurzeln.

(Maasse in Mikromillimetern.)

Bezeichnung der Wurzeln	Zahl der gemessenen Fälle	Minimum	Maximum	Häufigste Fälle	Bemerkungen
V 1	—	—	—	—	V bedeutet ventrale (motorische) Wurzel, also V1, V2 etc.: ventrale Wurzel des ersten, zweiten etc. Spinalnerven. — bedeutet nicht gemessen
V 2	20	5,4	13,5	9,0—10,8	
V 3	—	—	—	—	
V 4	—	—	—	—	
V 5	14	6,3	9,0	7,2	
V 6	17	5,4	11,6	7,2—8,1	
V 7	20	4,5	13,5	9,0—10,8	
V 8	24	7,2	15,3	10,8—12,6	
V 9	22	2,7	14,4	9,0—10,8	
V 10	—	—	—	—	

2. Dorsale Wurzeln.

(Maasse in Mikromillimetern.)

Bezeichnung der Wurzeln	Zahl der gemessenen Fälle	Minimum	Maximum	Häufigste Fälle	Bemerkungen
D 1	—	—	—	—	D bedeutet dorsale (sensible) Wurzel. Andere Bezeichnungen wie vorhin.
D 2	21	5,4	10,8	7,2—9,0	
D 3	—	—	—	—	
D 4	—	—	—	—	
D 5	14	2,7	8,1	3,6—5,4	
D 6	12	2,7	6,3	3,6—5,4	
D 7	20	3,6	15,3	Alle möglichen Kaliber ziemlich gleichmässig	
D 8	15	7,2	14,4		
D 9	22	3,6	14,4	9,9—10,8	
D 10	20	2,7	9,0[1]	3,6—5,4	

1) Nur einmal. Sonst ist 6,3 das Maximum.

Frosch II.

Nur 6 Wurzeln gemessen.

(Maasse in Mikromillimetern.)

Bezeichnung der Wurzeln	Zahl der gemessenen Fälle	Minimum	Maximum	Häufigste Fälle	Bemerkungen
V 1	25	3,6	9,0	7,2	V, D wie vorhin
V 2	25	3,6	12,6	9—10,8	
V 3	10	4,5	9,0	6,3—7,2	
D 2	22	3,6	11,7	8,1—9,0	
D 3	14	4,5	7,2	5,4—6,3	
D 5	20	3.6	8,1	5,4—7,2	

Frosch III.

1. Ventrale Wurzeln.

(Maasse in Mikromillimetern.)

Bezeichnung der Wurzeln	Zahl der gemessenen Fälle	Minimum	Maximum	Häufigste Fälle	Bemerkungen
V 1	—	—	—	—	Bezeichnungen wie früher
V 2	40	3,6	15,3	10,8—13,5	
V 3	7	5,4	11,7	?	
V 4	—	—	—	—	
V 5	22	4,5	12,6	9,0—11,7	
V 6	20	8,1	13,5	10,8—12,6	
V 7	31	4,5	14,4	9,0—12,6	
V 8	23	5,4	18,9	14,4—16,2	
V 9	34	5,4	18,0	10,8—16,2	
V 10	—	—	—	—	

2. *Dorsale Wurzeln.*

(Maasse in Mikromillimetern.)

Bezeichnung der Wurzeln	Zahl der gemessenen Fälle	Minimum	Maximum	Häufigste Fälle	Bemerkungen
D 1	—	—	—	—	
D 2	19	2,7	13,5	9,9—10,8	1 Fall von 2,7 [1]
D 3	20	2,7	8,1	3,6—5,4	
D 4	22	2,7	9,0	5,4—9,0	1 Fall von 11,7 [1] 1 Fall von 13,5 [1]
D 5	20	3,6	11,7	4,5—6,3	1 Fall von 12,6 [1]
D 6	22	2,7	10,8	5,4—7,2	
D 7	20	4,5	14,4	6,3—11,7	
D 8	22	3,6	18,0	12,6	
D 9	30	5,4	17,1	11,7—14,4	
D 10	14	4,5	10,8	5,4	1 einzige Faser von 16,2

Sehr instructiv ist ferner eine Zusammenstellung sämmtlicher an Frosch I, II und III ausgeführten Messungen mit Angabe der für jeden Durchmesser bestimmten Zahl der Fälle. Es ermöglicht dies einen Einblick in das ungefähre Zahlenverhältniss der Nervenfasern verschiedener Kaliber innerhalb der einzelnen Nervenwurzeln und veranschaulicht zugleich die Schwankungen der Maxima ebenso deutlich wie eine Curve derselben. Ich lasse diese Zusammenstellungen jetzt folgen.

---

1) In jeder Wurzel nur 1 Faser von der angegebenen Dicke, die bei D 10 zweifellos als aberrante, in die Bahn der langen Beinnerven ablenkende anzusehen ist.

Tabelle III.

Ventrale Wurzeln von Frosch I, II und III.

Maasse in Mikromillimetern	1,8	2,7	3,6	4,5	5,4	6,3	7,2	8,1	9,0	9,9	10,8	11,7	12,6	13,5	14,4	15,3	16,2	17,1	18,0	18,9	19,7	20,6	Zahl der Fälle
V 1	—	—	2	1	4	4	9	3	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	25
V 2	—	—	2	1	4	3	8	5	11	9	17	5	5	8	4	1	—	—	—	—	—	—	84
V 3	—	1	—	2	3	3	2	2	3	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	17
V 4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
V 5	—	—	—	1	2	5	10	1	7	4	2	4	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	36
V 6	—	—	—	—	1	2	6	7	6	3	5	5	4	1	—	—	—	—	—	—	—	—	37
V 7	—	—	—	2	—	4	4	1	12	4	8	6	4	4	2	—	—	—	—	—	—	—	51
V 8	—	—	—	—	1	—	2	—	4	—	9	1	9	5	8	1	5	—	1	1	—	—	47
V 9	—	1	—	—	2	1	—	2	4	5	7	3	9	5	8	4	4	—	1	—	—	—	56
V 10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
																							Summa: 353

Tabelle IV.

Dorsale Wurzeln von Frosch I, II und III.

Maasse in Mikromillimetern	1,8	2,7	3,6	4,5	5,4	6,3	7,2	8,1	9,0	9,9	10,8	11,7	12,6	13,5	14,4	15,3	16,2	17,1	18,0	18,9	19,7	20,6	Zahl der Fälle
D 1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
D 2	—	—	1	2	7	2	6	14	10	8	5	3	2	1	—	—	—	—	—	—	—	—	61
D 3	—	2	5	3	9	8	6	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	34
D 4	—	1	3	2	4	1	4	1	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	20
D 5	—	4	7	10	11	10	6	4	—	—	—	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	54
D 6	—	2	4	4	9	6	3	1	2	1	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	34
D 7	—	—	2	5	3	6	5	—	5	1	5	5	1	—	2	2	—	—	—	—	—	—	42
D 8	—	—	—	2	—	—	3	3	3	4	6	—	9	4	—	3	—	—	1	—	—	—	38
D 9	—	—	1	2	5	4	3	1	3	4	6	4	4	5	5	2	2	1	—	—	—	—	52
D 10	—	3	11	5	7	1	4	—	1	2	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	35
																							Summa: 370

Endlich stelle ich in Tabelle V die berechneten Mittelwerthe der Nervenfaserdurchmesser sämmtlicher Spinalnervenwurzeln übersichtlich zusammen.

Tabelle V.

(Maasse in Mikromillimetern.)

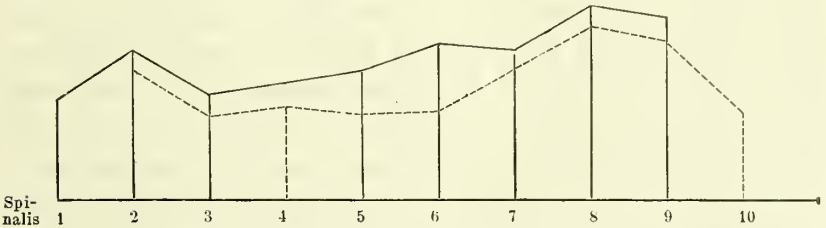
1. Ventrale Wurzeln.

Name der Wurzel	Unter Berücksichtigung aller gemessenen Fasern berechnet	Aus Maximum und Minimum berechnet
V 1	6,6	6,3
V 2	9,8	9,4
V 3	6,8	7,2
V 4	—	—
V 5	8,6	8,5
V 6	10,2	9,5
V 7	10,0	9,5
V 8	12,6	12,2
V 9	12,0	10,3

2. Dorsale Wurzeln.

Name der Wurzel	Unter Berücksichtigung aller gemessenen Fasern berechnet	Aus Maximum und Minimum berechnet
D 1	—	—
D 2	8,5	8,5
D 3	5,5	5,4
D 4	6,1	5,8
D 5	5,6	7,6
D 6	5,9	6,7
D 7	8,5	9,4
D 8	10,8	11,25
D 9	10,4	10,4
D 10	5,2	6,7

In beifolgender Figur sind die Mittelwerthe der ersten Kategorie für ventrale und dorsale Wurzelfasern sämmtlicher Spinalnerven des Frosches graphisch veranschaulicht.



Curve der Faserkaliber (Mittelwerthe) in den Spinalnervenwurzeln des Frosches.
— ventrale, --- dorsale Wurzeln.

Ein flüchtiger Blick auf das mitgetheilte Material lehrt nun zweifellos, dass die Qualität der Nervenfasern, ob motorisch oder sensibel, jedenfalls nur in geringem Grade für die Verschiedenheiten der Nervenfaserkaliber verantwortlich zu machen ist. Denn es finden sich die grössten Kaliber nicht etwa nur in den motorischen Wurzeln, die kleinsten Kaliber in den sensiblen, sondern alle Faserdicken sind innerhalb beider vorhanden. Nur eins lässt sich allenfalls behaupten, dass die minimalen Kaliber im Allgemeinen in den motorischen Wurzeln nicht so gering sind, als in den sensiblen, dass also die Differenzen zwischen Maximum und Minimum für die motorischen Fasern geringer sind, als für die sensiblen. Jedenfalls geben die angeführten Messungen durchaus keine Veranlassung, im verschiedenen Kaliber ein Merkmal sensibler und motorischer Fasern zu erblicken.

Neben diesem negativen Ergebniss, welches mit Reissner's [1]) Erfahrungen an den menschlichen Spinalnerven vollkommen übereinstimmt, springt aber eine andere Thatsache sofort in die Augen, besonders bei Betrachtung der vollständigen Zusammenstellungen von Frosch I und III und der Tabellen III und IV, welche sämmtliche Messungen enthalten. Die grössten Maxima der Faserdicken werden in den motorischen und sensiblen Wurzeln derjenigen Spinalnerven

1) Neurologische Studien. Archiv von Reichert und du Bois-Reymond. 1862. S. 131.

gefunden, welche zu den Extremitäten gehen, und zwar höhere Maxima in den für die hintere Extremität bestimmten Nerven (Spinalis VII, VIII und IX), als in dem N. spinalis II, der die vordere Extremität versorgt. Würde man die Dickenmaxima für sämmtliche ventrale oder sämmtliche dorsale Wurzeln in einer Curve graphisch veranschaulichen, so würde dieselbe entsprechend den Extremitätennerven oder den beiden Rückenmarksanschwellungen beträchtliche Erhebungen zeigen, und zwar für die hintere Extremität ein bedeutenderes Ansteigen erkennen lassen, als für die vordere. Da schon in Tabelle III und IV dies Verhalten der Durchmessermaxima anschaulich genug hervortritt, so habe ich auf Wiedergabe einer graphischen Darstellung der Maxima verzichtet, dagegen in der auf S. 19 abgedruckten Figur die Curve der berechneten Mittelzahlen für sämmtliche motorische und sensible Wurzeln gegeben.

Es ergibt sich somit die höchst bemerkenswerthe Thatsache, dass die Vertheilung gröberer und feinerer Fasern über die einzelnen Spinalnervenwurzeln durchaus keine gleichmässige ist. Die einzelnen Wurzeln können sich auffallend durch ihre Faserkaliber unterscheiden. Es ist im höchsten Grade überraschend, nach Durchmusterung z. B. der Wurzelfasern des achten Spinalnerven mit ihren grossen Kalibern ein Zerfaserungspräparat der Wurzeln des vierten, fünften oder sechsten, besonders aber des dritten Spinalnerven zu vergleichen, in welchem, und zwar hier allerdings besonders in den dorsalen Wurzeln, die feineren Fasern das Gesichtsfeld beherrschen. Man kann somit an unbekannten Präparaten von Spinalnervenwurzeln sofort die Entscheidung treffen, welches der Wurzel eines Extremitätennerven angehöre, welches nicht.

Was liegt nun aber näher, als die stärkeren Kaliber in den Wurzeln der Extremitätennerven mit der grösseren Länge der betreffenden Nervenstrecke in Zusammenhang zu bringen! Wollte man diese natürlichste Auffassung nicht acceptiren, so wüsste ich nur eine Möglichkeit der Deutung jener Unterschiede. Man könnte nämlich der Meinung sein, dass die Extremitätennerven häufiger innervirt würden, als die Nerven des Brust- und Bauchumfanges, und in Folge dieses häufigeren Gebrauches sich stärker entwickelt hätten. Zunächst ist nun aber die

Voraussetzung einer häufigeren Reizung der Extremitätennerven nicht zu beweisen, wenn sie auch sehr plausibel erscheint. Sodann aber scheint mir folgender Umstand mehr für die von mir acceptirte Auffassung, dass nämlich die Dicke [1]) der Nervenfasern abhängig sei von ihrer Länge, zu sprechen. Die Maxima sowie die für die häufigsten Fälle gefundenen Zahlen sind grösser innerhalb der Nervenwurzeln der hinteren Extremität, als in denen der vorderen; letztere übertreffen aber ihrerseits die Nerven der Brust- und Bauchwand und den N. coccygeus. Es entsprechen also diese Unterschiede etwa den Unterschieden in den Längen der betreffenden Strecken. Eine Messung dieser Strecken bei 3 verschiedenen Exemplaren von Rana esculenta ergab folgendes Resultat [2]):

	Frosch I (Gesammtlänge von Schnauze bis Steiss 100 mm)	Frosch II (Gesammtlänge 86 mm)	Frosch III (Länge nicht gemessen)
Brachialis	80 mm	65 mm	66 mm
4. Spinalnerv	50 „	35 „	47 „
Ischiadicus	185 „	151 „	166 „
Coccygeus	45 „	32 „	—
Verhältniss vom Brachialis zum Ischiadicus	1 : 2,31	1 : 2,32	1 : 2,5

Die Curven der Nervenlängen und Nervenfaserdurchmesser heben und senken sich also an denselben Stellen; ihre Erhebung ist bedeu-

1) In diesem ganzen Abschnitt ist selbstverständlich immer nur der Anfangsquerschnitt gemeint.

2) Die Messungen wurden nicht am isolirten frischen, sich bedeutend verkürzenden Nerven angestellt, sondern in situ, sind also identisch mit der Messung der Verlaufsstrecken. Als N. brachialis ist die Strecke vom Ursprung des zweiten Spinalnerven bis zur Spitze des längsten Fingers, als N. ischiadicus die Nervenstrecke vom Ursprung der Wurzel des achten Spinalnerven bis zur Spitze der längsten Zehe angenommen. Die Länge des vierten Spinalnerven entspricht der Strecke von seinem Ursprung bis zum Ende der Ausbreitung seines Ramus cutaneus abdominalis. Der Werth für den N. coccygeus (N. spinalis X.) endlich wurde gefunden durch Messung der Strecke von seinem Ursprung bis zur Spitze des Steissbeines.

tender im Gebiet der Nerven für die hintere Extremität, als in dem des N. spinalis II. Allerdings eine direkte Proportionalität ist nicht nachzuweisen. Denn während die Länge des N. ischiadicus die des N. brachialis um mehr als das Doppelte übertrifft, dieselben sich etwa wie 4 : 2 verhalten, ist dies Verhältniss für die Faserdicken der dorsalen Wurzeln nur 3 : 2. Es ist aber für die Beurtheilung der Kaliber nicht statthaft, nur die Durchmesser der Nervenfaserquerschnitte, welche allein der direkten Messung zugänglich sind, mit den Längen der Nervenstrecken zu vergleichen. Das Wesentliche ist offenbar die Vergleichung der Flächen der Querschnitte. Diese sind leicht aus den Durchmessern zu berechnen.

Untersuchen wir also, ob die Querschnitte der Nervenfasern ihren Längen proportional sind, ob etwa die Proportion:

$$^1/_4 d^2\pi : {}^1/_4 D^2\pi = l : L$$

oder abgekürzt:

$$d^2 : D^2 = l : L$$

einen richtigen Ausdruck der zwischen Durchmesser (d und D) und Nervenlängen (l und L) offenbar bestehenden Beziehungen gewährt.

Wir beschränken uns dabei auf die Vergleichung des Verhältnisses der Kalibermaxima des Brachialis und Ischiadicus mit dem für die Nervenstrecken derselben gefundenen Verhältniss:

$$l : L = 1 : 2{,}3.$$

Im Folgenden bedeute dB und dI die Durchmesser des Brachialis und Ischiadicus, fB und fI die berechneten Querschnitte.[1])

A) Ventrale Wurzeln.

1. Frosch I.

$$dB : dI = 13{,}5 : 15{,}3 = 1 : 1{,}13$$
$$fB : fI = 143{,}1 : 183{,}8 = 1 : 1{,}28.$$

2. Frosch III.

$$dB : dI = 15{,}3 : 18{,}9 = 1 : 1{,}24$$
$$fB : fI = 183{,}8 : 282{,}0 = 1 : 1{,}5.$$

1) In Betreff der den Berechnungen zu Grunde gelegten Zahlen vergl. Tabelle II. Die berechneten Querschnittswerthe sind als □ Mikromillimeter zu verstehen.

B) Dorsale Wurzeln.

1. Frosch I.

$$dB : dI = 10{,}8 : 15{,}3 = 1 : 1{,}4$$
$$fB : fI = 91{,}5 : 183{,}8 = 1 : 2.$$

2. Frosch III.

$$dB : dI = 13{,}5 : 18{,}0 = 1 : 1{,}33$$
$$fB : fI = 143{,}1 : 254{,}4 = 1 : 1{,}78$$

Man ersieht aus den mitgetheilten Zahlen, dass sich das Verhältniss der Querschnittsmaxima (1 : 1,28; 1 : 1,5) innerhalb der motorischen Wurzeln von dem für die Nervenlängen gefundenen (1 : 2,3) beträchtlich entfernt, während für die sensiblen Wurzeln besonders des Frosches I sich eine grössere Annäherung an die Gleichung

$$\tfrac{1}{4} d^2\pi : \tfrac{1}{4} D^2\pi = l : L$$

ergibt, aber auch keine vollständige Uebereinstimmung. Es geht daraus hervor, dass ausser der Länge der Strecke, welche zweifellos in bedeutender Weise die Kaliber der Nervenfasern beherrscht, noch ein anderer unbekannter Factor von Einfluss auf die Kaliber ist, ein Factor, der stärker auf den Brachialis, als auf den Ischiadicus einwirkt. In einem späteren, vorzugsweise die Hirnnerven berücksichtigenden Abschnitte werde ich darauf zurückzukommen haben. Hier will ich nur die Vermuthung aussprechen, dass es die grössere Nähe des Gehirns sein mag, die den erwähnten Einfluss in nicht näher zu definirender Weise ausübt.

Sehen wir einstweilen von diesem modificirenden Factor ab und lassen wir wenigstens für die sensiblen Nervenfasern die oben erwähnte Proportionalität zwischen Kaliber und Faserlängen zu Rechte bestehen, so folgt daraus, dass einer halb so dicken Nervenfaser nicht eine halb so lange, sondern nur eine $^1/_4$ so lange Strecke angehört. Wir dürfen uns also nicht wundern, wenn zwei Durchmesser mit verhältnissmässig geringen Differenzen doch relativ grossen Streckendifferenzen entsprechen. Trägt man in unsere Tabellen die Quadrate der Durchmesser anstatt der einfachen Maasse der Durchmesser ein, so erscheint die Abhängigkeit der Nervenfaserkaliber von der Länge der Strecke noch viel auffallender.

Die Beziehungen, welche ich soeben zwischen Durchmesser und Länge der Nervenfasern entwickelt habe, gelten selbstverständlich zunächst nur für die Nervenfasern der Spinalnervenwurzeln, also für den Anfangsquerschnitt der Nervenfasern. Welche Modificationen der Querschnitt motorischer und sensibler Fasern während des weiteren Verlaufes erleidet, soll unten gezeigt werden. Ebenso ist in einem anderen Abschnitt die Frage zu erörtern, ob die Kaliber der Axencylinder der Nervenfasern dieselbe Abhängigkeit von der Länge der Strecke zeigen.

Lassen wir also einstweilen diese Complicationen unberücksichtigt. Es ist nunmehr nicht schwer zu verstehen, wie es kommt, dass ein und dieselbe Spinalnervenwurzel die verschiedensten Kaliber der Nervenfasern birgt. Gibt sie doch während ihres Verlaufes successive Zweige ab, die in den verschiedensten Entfernungen von ihrem Ursprunge ihr Ende finden. Die feinsten Fasern werden diejenigen sein, welche nach kürzestem Verlauf terminal werden. Sind die feinsten Kaliber nicht vorhanden, so ist die Deutung selbstverständlich, dass die zuerst abgegebenen Nerven einen längeren Verlauf haben. Enthalten Wurzeln mit überwiegend feineren Fasern, wie z. B. D X, sporadisch einige wenige auffallend dicke, so ist anzunehmen, dass diese nicht für das direkte Nervenausbreitungsgebiet dieser Wurzel bestimmt sind, sondern später in längere Bahnen einlenken, in unserem Falle also den Beinnerven zufliessen.

Eine weitere Folgerung ist die, dass ein Nerv, der sich zu einem Muskel abzweigt oder zu einer eng begrenzten Hautpartie zieht, durch Fasern gleichmässigen oder nur wenig differenten Kalibers charakterisirt sein muss. In der That ergibt eine solche Untersuchung z. B. am sogenannten Brusthautmuskel vom Frosch eine auffallende Gleichartigkeit der Kaliber. Es differiren hier die Durchmesser der Nervenfasern um 1 bis 2 μ; ähnlich gleichmässig verhalten sich die Nervenfasern in den sensiblen Fäden, welche durch den Rückenlymphsack des Frosches zur Rückenhaut ziehen. Eine vollständige Gleichheit der Kaliber aber zu verlangen, ist auch hier nicht statthaft. Denn 1) sind ja die Strecken innerhalb der Endausbreitung verschieden lang; 2) er-

hält bekanntlich ein Muskel seine Nervenfasern gewöhnlich nicht aus einer Nervenwurzel, sondern aus zwei oder drei; und Aehnliches gilt für die Nerven eines bestimmten Hautgebietes. Daraus folgt ebenfalls eine Längendifferenz in dem centralen Ursprungsgebiet der Nerven. Die Addition der Längendifferenzen am Ursprung und Ende eines Muskel- oder Hautnerven dürfte aber wohl eine Zahl ergeben, welche der Kaliberdifferenz von 1 bis 2 μ Durchmesser gleichkommt.

Von grösstem Interesse muss es natürlich sein, zu erfahren, wie die Spinalnervenwurzeln des Menschen sich unserem vom Frosch abstrahirten Satze gegenüber verhalten. Ich untersuchte von ventralen Wurzeln den 2., 3. und 7. Cervicalnerven, den 2. und 3. Dorsalnerven. Die untersuchten dorsalen Wurzeln waren die des 7. Halsnerven, 2. Dorsalnerven, 2. Lumbalnerven, 1. und 4. Sacralnerven. Die Messungen wurden an Querschnitten der in Müller'scher Lösung und Alkohol erhärteten Wurzeln ausgeführt. Für einige Wurzeln wurden, wie die unten mitgetheilten Protokolle angeben, zugleich Zählungen der in ihnen enthaltenen Nervenfasern vorgenommen. Es bestätigte sich hierbei aber wieder die Erfahrung, dass die Maxima der Nervenfaserdicken an Querschnitten weniger leicht in die Augen fallen, als an Isolationspräparaten. Zur Beurtheilung der Verschiedenheiten der einzelnen Wurzeln müssen desshalb die Kaliber der in überwiegender Zahl vorhandenen Nervenfasern besonders berücksichtigt werden.

Ich lasse zunächst die speciellen Protokolle und dann eine tabellarische Uebersicht der gefundenen Zahlen folgen.

I. Ventrale Wurzeln.

C 2. 6 Hauptbündel, in 19 secundäre Bündel zerfallend. Im 1. Bündel wurden die Nervenfasern direkt gezählt = 157 innerhalb 18 Quadrate bei Zeiss *C II.* Bündel 2 bis 6 umfassten 141 Quadrate. Da die Nervenfasern der einzelnen Quadrate ziemlich gleichmässige Dicke besitzen, so konnte die Zahl 8,72 als Grundzahl für 1 Quadrat angenommen werden, woraus sich die Zahl der Nervenfasern für 141 Quadrate zu 1229 berechnet. Mit den direkt gezählten erhalten wir also als Gesammtsumme 1386, rund 1400 Nervenfasern. Die Durchmesser der Nervenfasern sind äusserst gleichmässig, schwanken zwischen 9,9 und 11,7 μ. Nur wenige feinere von 5,4 μ sind

beigemischt. Eine Zählung ergab, dass auf 110 Fasern eines Bündels etwa 20 kamen.

C 3. 3 Hauptbündel mit zusammen 132,5 Quadraten Querschnitt (bei Zeiss *C II*). Das Quadrat zu 12 Fasern angenommen ergibt 1590 Fasern für die ganze Wurzel. Die 3 Bündel verhalten sich in Betreff der Faserkaliber etwas verschieden. No. 1 enthält überwiegend Fasern von 12,6 μ, nur sehr wenige von 5,4—7,2 μ; No. 2 enthält sehr verschiedene Kaliber gemischt von 3,6—16,2; No. 3 ist wieder gleichmässiger als No. 2, indem die Mehrzahl der Fasern 12,6—16,2 messen, nur wenige 3,6—5,4 μ.

C 7. 19 Bündel mit 450½ Quadrat bei Zeiss *C II.* Das Bündel im Minimum zu 10 Fasern gerechnet, ergibt wenigstens 4500 Fasern. Dieselben sind sehr gleichmässig; die meisten messen 12,6—14,4 μ, viele bis 18 μ, einzelne herab bis 9 μ; feinere waren nicht zu finden.

D 2. 2 Hauptbündel mit 143 Quadraten (*C II* Zeiss). Die beiden Bündel enthalten 1) zahlreiche dickere Fasern von 10,8 μ Durchmesser; einzelne Fasern abwärts bis 7,2 μ, aufwärts bis 13,5 μ. 2) Dazwischen zerstreut sind Bündel sehr feiner Fasern von nur 1,8—2,7 μ; diese feinen Bündel können bis 200 Fasern und mehr enthalten.

D 4. 72 Quadrate zu 720 Fasern berechnet. Sehr verschiedene Dicken: 1) die feinsten von 2,7—3,6 μ bündelweise, etwa die Hälfte des ganzen Querschnitts einnehmend, 2) die gröberen von 9,0—10,8 μ mehr zerstreut, einige bis 12,6, andere bis herab zu 5,4 μ.

II. Dorsale Wurzeln.

C 7. Mehrzahl der Fasern zwischen 12,6 und 14,4 μ, einige bis 18,0 μ, andere herab bis 7,2 μ. Keine Bündel gleichmässig feiner Fasern.

D 2. 2 Hauptbündel No. I mit 79 Quadraten, No. II zerfällt wieder in 2 Bündel: IIa mit 90, IIb mit 46 Quadraten. Gesammtsumme der Quadrate 215. Dicken der Nervenfasern in Bündel I gleichmässig, ungefähr 12 auf ein Quadrat; bei stärkerer Vergrösserung erkennt man aber zahlreiche eingestreute feine. Die grössere Zahl der Fasern von 8,1—9,0 μ Durchmesser, nur sehr wenige bis 12,6 μ. Es unterscheidet sich das Querschnittsbild dadurch sofort von dem der dorsalen Wurzel *C 7.* — In No. IIa ist die Mehrzahl der Fasern zwischen 9,0 und 10,8 μ, nur einzelne zwischen 12,6 und 14,4 μ; dagegen zahlreiche feine Fasern von 1,8—3,6 μ eingestreut. — In No. IIb ist die Mehrzahl der Fasern zwischen 7,2 und 9,0 μ, einige bis 10,8 μ; zahlreiche feine Fasern bis herab zu 1,8 μ.

L 2. 3 Hauptbündel mit 37 secundären Bündeln = 776 Quadraten.

Mehrzahl der Fasern 9,9—10,8 μ, viele bis 12,6 μ, einzelne bis 14,5 μ und mehr. Dazwischen zahlreichere feinere Fasern bis herab zu 1,8 μ.

S 1. 2 Hauptbündel = 14 secundäre Bündel = 673 Quadrate. Mehrzahl der Fasern zwischen 10,8 und 12,6 μ, einzelne bis 14,4 μ. Feine Fasern fehlen nahezu vollständig.

S 4. Mehrzahl der Fasern zwischen 9,0 und 10,8 μ, einzelne bis 14,4 μ. Sehr viele feine.

Tabelle VI.

MENSCH.

Ventrale Wurzeln der Spinalnerven.

(Maasse in Mikromillimetern.)

Wurzel	Minimum	Maximum	Häufigste Fälle	Bemerkungen
C 2	5,4	11,7	9,9—10,8	C = Cervicalnerv.
C 3	3,6	16,2	12,6—16,2	D = Dorsalnerv.
C 7	9,0 ?	18,0	12,6—14,4	
D 2	1,8	13,5	10,8	
D 4	2,7	12,6	9,0—10,8	

Tabelle VII.

MENSCH.

Dorsale Wurzeln der Spinalnerven.

(Maasse in Mikromillimetern.)

Wurzel	Minimum	Maximum	Häufigste Fälle	Bemerkungen
C 1	7,2	18,0	12,6—14,4	C = Cervicalnerv.
D 2	2,7	12,6	9,0	D = Dorsalnerv.
L 2	2,7	16,2	9,9—12,6	L = Lumbalnerv.
S 1	?	16,2	10,8—12,6	S = Sacralnerv.
S 4	2,7	14,4	9,0—10,8	

Eine Durchmusterung der gefundenen Zahlen zeigt zunächst, dass auch beim Menschen zwischen sensiblen und motorischen Nervenfasern kein auf die verschiedenen Kaliber begründeter Unterschied besteht.

Bekanntlich war früher vielfach die Meinung verbreitet, dass die sensiblen Wurzeln sich durch feinere Fasern von den motorischen unterscheiden. Henle [1]) formulirte diese Unterschiede in folgender Weise: „Er (der Unterschied) stellt sich aber deutlich dadurch heraus, dass die Mehrzahl der Röhren in den hinteren Wurzeln feiner ist, als in den vorderen, ferner dass die dicksten Röhren der vorderen Wurzeln stärker sind, als die dicksten Röhren der hinteren Wurzeln, und endlich die Zahl der feinsten Röhren in den hinteren Wurzeln viel grösser ist, als in den vorderen.“ Auch D. Rosenthal [2]) findet, dass in den vorderen Wurzeln die dickeren, in den hinteren aber die dünneren Fasern vorherrschen. Dagegen machen Bidder und Volkmann [3]) darauf aufmerksam, dass bei allen von ihnen untersuchten Thieren (Hund, Kalb, Kaninchen, Katze, Ratte, Mensch) sich in den vorderen sowohl als hinteren Rückenmarksnerven so zahlreiche dünne Fasern zwischen den breiten fanden, dass man die Menge der beiden Faserarten als gleich nehmen konnte, ausgenommen der vorderen Wurzeln des Menschen, in welchen die breiten Fasern quantitativ vorherrschen. Bidder und Volkmann bezeichneten die feinen markhaltigen Fasern als sympathische. Nach Kölliker [4]) finden sich in den motorischen Wurzeln des Menschen grössere Maxima, geringere Minima der Nervenfaserdicken. Sie bestehen nach ihm zu $^3/_4$ aus Nervenfasern von 13,0—24,0 μ, zu $^1/_4$ aus solchen von 5,6—6,7 μ. In den sensiblen messen $^2/_3$ 9,0—18,0 μ, $^1/_3$ 2,4—6,7 μ. Kölliker kennt also keine feinen Fasern innerhalb der motorischen Wurzeln.

Die richtigste Darstellung des feineren Baues der Nervenwurzeln mit Rücksicht auf feinere und gröbere Fasern verdanken wir Reissner. [5]) Er kommt zu folgenden Resultaten: 1) Die breiten Fasern der vor-

---

1) Allgemeine Anatomie. S. 669.

2) De numero atque mensura microscopica fibrillarum elementarium systematis cerebro-spinalis symbolae. Dissert. Vratislaviae. 1845. p. 11.

3) Die Selbständigkeit des sympathischen Nervensystems. Leipzig 1842. S. 76.

4) Gewebelehre. 5. Auflage. 1867. S. 258.

5) Neurologische Studien. Archiv von Reichert und du Bois-Reymond. 1862. S. 131.

deren und hinteren Spinalnervenwurzeln haben gleiche Durchmesser; 2) eine grössere Menge von feinen Fasern ist kein allgemeiner Charakter der hinteren Spinalnervenwurzeln. Feine Fasern fand er somit auch in den ventralen Wurzeln, und zwar zu Bündeln vereinigt in denen der Dorsalnerven, vereinzelt in denen der übrigen Spinalnerven. In den hinteren Wurzeln fand er sie ohne Unterschied der Region zu Bündeln vereinigt. Die stärksten Fasern waren nach Querschnittsmessungen 20,0—23,0 μ dick; die meisten breiten Fasern haben einen Durchmesser von 15,2—18 mm, die feinsten Fasern von 2,0—4,0 μ. Einen Unterschied in der Vertheilung von feineren und gröberen Fasern nach den Regionen fand Reissner nicht, es sei denn die hervorgehobene Eigenthümlichkeit der ventralen Wurzeln der Dorsalnerven, eine Sprenkelung des Querschnitts durch zahlreiche Bündel feiner Fasern, welche überdies den hinteren Wurzeln aller Dorsalnerven zukommt, dagegen den vorderen Wurzeln der Hals- und Lendennerven fehle. Auch mir fiel diese eigenthümliche Beschaffenheit jener ventralen Wurzeln auf; ich habe sie oben vom 2. und 4. Dorsalnerven notirt. Andere Angaben Reissner's finden ebenfalls in meinen Untersuchungen ihre Bestätigung. Ausserdem aber erkennt man aus den mitgetheilten Zahlen nicht schwer die Abhängigkeit der Höhe der Maxima und der Zahl der häufigsten Fälle von der Art der Wurzeln wieder. Auch beim Menschen zeigen die für längere Strecken bestimmten Wurzeln, also die Wurzeln der Extremitätennerven, höhere Maxima der Faserdicken, überhaupt eine grössere Zahl dicker Fasern, als die den kürzeren Nervenstrecken (den Intercostalnerven) zufliessenden. Reissner hat auf diese Unterschiede nicht geachtet, sondern nur im Allgemeinen Cervicalnerven, Dorsalnerven, Lumbalnerven etc. unterschieden. Er nennt in Folge dessen auch nicht die Zahlen der Nerven, auf die es doch für die Beurtheilung der Nervenlänge ganz besonders ankommt. Nur bei Rosenthal [1]) habe ich mehrere Messungen mit genauer Nennung des Spinalnerven gefunden. Beim Hunde maass er zahlreiche Fasern sowohl der dorsalen als ventralen Wurzeln des 3. und 8. Halsnerven,

1) l. c. p. 9.

des 1. Lumbal- und 1. Sacralnerven. Stellt man die ROSENTHAL'schen Zahlen in ähnlicher Weise, wie ich es in Tabelle VI und VII gethan habe, zusammen, so ergibt sich wenigstens für die dorsalen Wurzeln das Maximum der Dicke mit 0,0083‴ [1]) für den ersten Sacralnerven; für die dorsale Wurzel des 3. Halsnerven jedoch liegt das Dicken-Maximum schon bei 0,0070‴.

Wende ich mich zu meinen Ergebnissen zurück, so wird man aus den von mir für einige Nervenwurzeln des Menschen mitgetheilten Zahlen wenigstens den Schluss ziehen dürfen, dass das Maximum der Faserdicke und die Zahl der dickeren Nervenfasern überhaupt grösser ist in den Wurzeln langer Nerven (C 7, S 1), als in denen kurzer (D 2). Nicht statthaft ist es allerdings, schon aus diesen Zahlen das Material zu einer ähnlichen Berechnung zu entnehmen, wie für den Frosch. Denn die von mir für L 2 und S 1 gefundenen Maxima sind offenbar zu gering gefunden; überhaupt habe ich mich wiederholt überzeugen müssen, dass Querschnittsuntersuchungen für die Ermittelung der Maxima und Minima der Nervenfaserdicken keine so zuverlässigen Resultate ergeben, als Untersuchungen in ihre Elemente zerlegter Wurzeln.

Aus diesen Gründen beschränke ich mich auf die Vergleichung zweier Nerven, nämlich der dorsalen Wurzeln des 7. Halsnerven und 2. Dorsalnerven mit 18,0 μ bezw. 12,6 μ Nervenfaserkaliber-Maximum. Es verhalten sich diese Zahlen

$$d : D = 12{,}6 : 18 = 1 : 1{,}43.$$

Die entsprechenden Längen sind: l (2. Intercostalnerv) = 30 cm. L (N. medianus) [2]) = 83 cm. Also.

$$l : L = 30 : 83 = 1 : 2{,}76.$$

$$d^2 : D^2 = 12{,}6^2 : 18^2 = 158{,}76 : 324 = 1 : 2.$$

Es ist also d etwas grösser, als es der Fall sein sollte, wenn allein die Längendifferenz das den Querschnitt Beherrschende wäre. Man könnte allerdings daran denken, dass die Maxima der sensiblen Wurzel

1) = 18,2 μ.

2) Diese Messungen wurden an Nerven von Spiritus-Präparaten angestellt. Auf demselben Wege wurde die grösste Länge des Ischiadicus zu 112 cm, des Cruralis ohne den N. saphenus zu 49 cm, der Bahn des letzteren zu 99 cm gefunden.

des 2. Dorsalnerven doch jedenfalls dem N. intercosto-humeralis angehören, dass also die zu d gehörende Strecke l bei unserer Berechnung entschieden zu niedrig gegriffen ist. Allein dann müsste wenigstens das Verhältniss für die ventralen Wurzeln stimmen, was aber, wie ein flüchtiger Blick auf Tabelle VIII zeigt, nicht der Fall ist. Wir können also einstweilen auch beim Menschen nicht von einer direkten Proportionalität der Quadrate der Faserdurchmesser und ihrer Längen reden, sondern müssen uns zunächst begnügen, dass überhaupt eine in die Augen springende Abhängigkeit der Faserkaliber von der Länge der Nervenfasern existirt. Auffällig sind dabei nur die für die ventrale Wurzel des 3. Cervicalnerven gefundenen starken Kaliber, die sich in durchaus nicht erwarteter Weise nicht bedeutend von denen des 7. Cervicalnerven unterscheiden. Zur Erklärung dieses Widerspruchs kann ich zunächst nur die Vermuthung aussprechen, dass es sich in dem untersuchten Falle um eine starke Wurzel des Phrenicus aus dem 3. Halsnerven gehandelt habe.

Ich habe im Vorstehenden das Material mitgetheilt, welches eine Schätzung des Einflusses der Länge der Nervenfasern auf ihre Kaliber ermöglicht. Ein genauerer Ausdruck für die gegenseitige Abhängigkeit von Kaliber ($^1/_4\, d^2\pi$) und Nervenstrecke (l) wurde in der Gleichung

$$d^2 : D^2 = l : L$$

vermuthet, aber nur für die sensiblen Wurzeln der Spinalnerven nahezu oder gänzlich zutreffend gefunden, während die motorischen Wurzeln etwas abweichende Verhältnisse zeigten. Dennoch war die allgemeine Abhängigkeit auch der Dicke der motorischen Fasern von der Nervenlänge nicht zu verkennen. Ich werde im folgenden Abschnitt auf diese Differenzen zwischen sensiblen und motorischen Wurzeln weiter einzugehen haben. Am Schluss dieses Kapitels möchte ich zunächst noch einige Folgerungen aus dem von mir gefundenen Gesetze ziehen:

1) Besteht eine Beziehung zwischen Nervenlänge und Faserkaliber, so ist klar, dass letzteres mit der Zunahme ersterer wachsen muss. Ein solches Dickenwachsthum der Nervenfasern ist aber längst von Harting[1])

1) Recherches microscopiques p. 70.

nachgewiesen. Eine Folge unseres Gesetzes ist auch, dass beim Foetus die Nervenfasern eines Nerven viel geringere Differenzen ihrer Dicke zeigen, als beim Erwachsenen. Nach Harting messen die Nervenfasern eines 133 mm langen Foetus zwischen 2,6 und 4,3 μ, also Differenz = 1,9 μ, eines Erwachsenen von 1,485 m Körperlänge zwischen 9,3 und 26,5 μ, also Differenz = 17,2 μ. Es wird ferner zu erwarten sein, dass die Unterschiede, welche die verschiedenen Nervenwurzeln in den Kalibern ihrer Nervenfasern zeigen, um so geringer sind, je jünger das betreffende Individuum, also je geringere Längenunterschiede der Nervenstrecken vorhanden sind.

2) Eine wichtige praktische Folgerung aus unserem Gesetz bezieht sich auf den Faserverlauf. Dicke Fasern der Nervenwurzeln werden wir langen Nerven zuschreiben. Wir werden dies möglichenfalls auch verwerthen können für die Erforschung des Faserverlaufs im Rückenmark und Gehirn. In der That finden wir im Rückenmark die anerkannten langen Bahnen durch dickere Fasern ausgezeichnet. So messen die der Kleinhirnseitenstrangbahn fast sämmtlich 10—15 μ; in der Pyramidenbahn sind allerdings viele feine und mittelstarke Fasern vorhanden, aber neben zahlreichen starken von 10—15 μ. Es dürfte dies leicht in Zusammenhang zu bringen sein mit der sehr verschiedenen Länge der Pyramidenfasern. Eine genaue Messung der Faserkaliber der Pyramiden- und Kleinhirnseitenstrangbahn in verschiedenen Höhen des Rückenmarks und Gehirns dürfte jedenfalls neue interessante Aufschlüsse geben, denn es handelt sich hier nicht mehr um Fasern, welche zwischen Ursprungsganglienzelle und Endorgan ausgespannt sind, wie bei denen der peripheren Nerven, sondern um Leitungsbahnen, welche, wenigstens nach den jetzt herrschenden Ansichten, zwei Centralstationen unter einander in Verbindung setzen. Zu untersuchen ist, ob hier etwa unser Gesetz, dem zu Folge eine Abhängigkeit des Nervenfaserkalibers von der Länge der Nervenstrecke besteht, modificirt wird. Ueber eigene Erfahrungen auf diesem Gebiet verfüge ich noch nicht. Wohl aber kann ich über die Nervenfasern in den Zones radiculaires postérieures von Pierret (Grundbündeln der Hinterstränge von Flechsig) eine Mittheilung machen, welche die Abhängigkeit der Faserkaliber von

der Lage innerhalb bestimmter Zonen des Rückenmarks nachweist. In den Zonen, welche lange Nerven abgeben, also in der Hals- und Lendenanschwellung, finden sich höhere Kalibermaxima für die Fasern der Grundbündel der Hinterstränge, als im Dorsalmark. Wir konnten dies nach den oben für die hinteren Wurzeln gegebenen Zahlen auch nicht anders erwarten. Denn jene Region der Hinterstränge enthält ja vorzugsweise Fasern der hinteren Wurzeln.

So viel über die Nervenfasern der Centralorgane. Es muss künftigen Untersuchungen überlassen bleiben, zu entscheiden, wie weit das Kalibergesetz etwa für das Studium der Faserung des Gehirns und Rückenmarks zu verwerthen ist. Nur das, so scheint mir, lässt sich schon jetzt mit grösster Wahrscheinlichkeit behaupten, dass die dickeren Nervenfasern der Centralorgane längeren Strecken entsprechen werden, als die feinen. Es dürfte ferner nicht zu gewagt sein, unsere Vermuthungen auch auf den Sympathicus auszudehnen und die feinen markhaltigen Fasern des letzteren, welche Bidder und Volkmann für specifisch sympathische hielten, als kurzen Nervenstrecken zugehörig zu betrachten.

III. Einfluss der Qualität der Nervenfasern.

Im vorigen Kapitel ist wiederholt darauf hingewiesen, dass Kaliberunterschiede allein keine charakteristischen Merkmale motorischer und sensibler Fasern sind; denn höchste und niedrigste Zahlen finden sich bei beiden. Dennoch ergibt eine aufmerksame Betrachtung der von mir mitgetheilten Messungen, namentlich eine Vergleichung der Tabellen III und IV, sowie der auf S. 19 mitgetheilten Curve, dass Unterschiede bestehen. Diese Unterschiede sind zweierlei Art:

1) Die sensiblen Fasern sind in ihren Kalibern gewissermaassen empfindlichere Reagentien auf die Länge der Nervenstrecke, als die motorischen. Bin Blick auf die Curve (S. 19) zeigt, dass dieselbe für die sensiblen Nerven des Frosches im Gebiete des 3. bis 6. Spinalnerven eine viel tiefere Einknickung zeigt, als für die motorischen. Noch auffallender stellt sich dieser Unterschied für den Menschen heraus. Hier zeigen die für die einzelnen

ventralen Wurzeln gefundenen Mittelzahlen und Maxima nicht die nach den Unterschieden der Nervenlänge zu erwartenden Differenzen (vergleiche ventrale Wurzel von C 2 und C 3 in Tabelle VIII). Zahlreichere Messungen, als ich sie bis jetzt angestellt habe, werden wohl diese geringere Empfindlichkeit der motorischen Fasern gegen die Länge der Nervenstrecke noch schärfer zum Ausdruck bringen.

2) Die Nervenfasern motorischer Wurzeln erreichen höhere Kalibermaxima, als die der gleichnamigen sensiblen. Auch findet sich in den motorischen Nervenwurzeln eine grössere Anzahl dickerer Fasern, als in den gleichnamigen sensiblen, so dass die Kalibermittelwerthe für die motorischen Wurzeln durchweg höher liegen, als für die sensiblen.

IV. Andere Einwirkungen. Einfluss der Uebung. Hirnnerven.

Es wurde oben bereits darauf hingewiesen, bei Vergleichung der Nervenfaserkaliber im Spinalis II und Ischiadicus des Frosches, dass eine direkte Proportionalität ihrer Querschnitte und Nervenlängen durch einen unbekannten Factor gestört werde, der sich besonders den motorischen Nervenfasern gegenüber geltend mache und bewirke, dass ihre Kaliber im Verhältniss zur Länge zu dick ausfallen. Aehnliche Abweichungen von der aufgestellten Relation zwischen Querschnitt und Länge der Nervenstrecke zeigen nun die Hirnnerven, aber in gesteigertem Maasse, und zwar um so auffallender, je näher dem proximalen Ende des Gehirns sie entspringen. Auch hier sind es wieder die motorischen Nerven, welche am weitesten sich von der direkten Proportionalität entfernen, während die sensiblen geringere Abweichungen zu zeigen scheinen.

Betrachten wir zuerst die rein motorischen Hirnnerven. Beim Frosch habe ich nur den Oculomotorius untersucht. Als Maximum der Faserdicke fand ich hier 9,0 μ, als Mittelzahl 6,0 μ. Es wurde dabei das von mir an einem anderen Orte erwähnte Bündel feiner Fasern (Ciliarganglionstrang) nicht berücksichtigt. Den eben mitgetheilten Kaliberzahlen steht nun eine Streckenlänge von nur $4\frac{1}{2}$ mm zur Seite. Es sind also die Kaliber im Verhältniss zur Länge des

Nerven viel stärker, als nach dem bei den Spinalnerven erörterten Gesetz erwartet werden müsste.

Von motorischen Hirnnerven des Menschen liegen mir an Querschnitten ausgeführte Dickenmessungen der Wurzelfasern des Oculomotorius, Abducens, Facialis und der Portio minor trigemini vor. Im Facialis messen die meisten Fasern 12,6—14,4 μ, haben also dieselben Kaliber wie die der motorischen Wurzeln des 7. Cervicalnerven. Die Strecken sind aber keineswegs die gleichen; vielmehr übertrifft die des 7. Cervicalnerven (Länge des Medianus) mit 830 mm die des Facialis, welche ich in einem Falle zu 156 mm bestimmte, um mehr als das Fünffache. — In der motorischen Wurzel des Trigeminus fand ich dagegen die Faserkaliber geringer (im Mittel 8,0 μ) in Uebereinstimmung mit der geringeren Länge der Nervenstrecke. Man sollte nun aber erwarten, dass die viel kürzeren Augenmuskelnerven entsprechend dünnere Fasern besitzen. Allein nach meinen Messungen[1]) erheben sich die Fasern des Oculomotorius mit 10,8—12,6 μ im Mittel (Maximum 13,5 μ), die des Abducens mit 10,8 μ im Mittel (Maximum 12,6 μ) bedeutend über die Kaliber der motorischen Trigeminuswurzel, wenn sie auch unterhalb der für die Nervenfasern des Facialis gefundenen Mittelzahlen bleiben. Trotz der grossen Unterschiede in der Länge der Nervenstrecke differiren also die Kaliber der Nervenfasern im Oculomotorius, Abducens und Facialis nur unbedeutend, allerdings aber in gleichem Sinne, wie die Längen der Nervenstrecken. Es geht dies aus folgender Zusammenstellung hervor:

1) Die hier für die Kaliber des Oculomotorius und Abducens mitgetheilten Zahlen weichen wesentlich von den durch Reissner gefundenen ab (Neurologische Studien. Archiv von Reichert und du Bois-Reymond 1861. S. 721 ff). Reissner fand, und zwar ebenfalls an Querschnitten, die Mehrzahl der Fasern im Oculomotorius, Trochlearis und Abducens über 20 μ dick, und zwar im Abducens die grössten Dicken, bis 28 μ. Da Reissner, ebenso wie ich es gethan habe, die Zuverlässigkeit seiner Mikrometerwerthe durch Bestimmung der Dimensionen von Objekten genau bekannter Grösse, nämlich der menschlichen rothen Blutkörperchen geprüft hat so sind zur Erklärung seiner abweichenden Angaben nur zwei Dinge möglich, nämlich entweder ein Rechenfehler, oder die Annahme, dass das von ihm untersuchte Individuum besonders dicke Faserdurchmesser besessen habe.

	Durchmesser in μ		Länge der Nerven in mm
	Maximum	Häufigste Fälle	
Oculomotorius . .	13,5	10,8—12,6	73
Abducens	12,6	10,8	58
Facialis	14,4	12,6—14,4	156

In den Augenmuskelnerven also macht sich besonders mächtig ein unbekannter Einfluss geltend, der trotz der geringen Strecken die Kaliber der Nervenfasern zu Werthen in die Höhe treibt, die den im Medianus gefundenen nicht nachstehen. Welcher Art dieser unbekannte Factor sei, ist schwer zu sagen. Ob die Hirninnervation im Allgemeinen begünstigend auf die Entwicklung der Faserkaliber motorischer Wurzeln wirke, oder ob der besonders häufige Gebrauch jener Nerven ihre Kaliber so zu sagen gross gezogen habe, wer will dies beweisen? Denn einer direkten Messung sind ja beide als möglich gedachten Einwirkungen nicht zugänglich. Dass aber letztere Annahme viel Wahrscheinliches für sich hat, wird man zugeben müssen in der Erwägung, dass gerade die Augenmuskelnerven, aber auch, allerdings in geringerem Grade, der Facialis, von jenem unbekannten Einfluss betroffen werden.

Es ist hier der Ort, mit wenigen Worten auf Pierret's Angaben über die Ganglienzellen der motorischen Hirnnervenkerne einzugehen. Auch für diese gibt Pierret an, dass sie um so grösser seien, je länger die Strecke. Es soll in den motorischen Ganglien des Gehirns die Grösse der Zellen vom Hinterhirn nach dem Mittelhirn abnehmen, also z. B. die Zellen des Oculomotorius- und Trochleariskernes kleiner sein, als die des Abducenskernes, des letzteren wieder kleiner als die des Hypoglossus und Facialis. Wenn dabei Pierret voraussetzt, dass der Abducens länger sei, als der Oculomotorius oder Trochlearis, so muss ich dies nach den oben mitgetheilten Zahlen, denen ich die Länge des Trochlearis mit 83 mm hinzufüge, entschieden in Abrede stellen. Damit ist aber das Pierret'sche Gesetz für die motorischen Zellen der Hirnnerven hinfällig geworden; es ist, wie mein Kalibergesetz, auf die Spinalnerven zu beschränken. Ueberdies ist auch die

von Pierret behauptete Abnahme der Nervenzellengrössen vom Rückenmark zum Mittelhirn nicht aufrecht zu erhalten. Nach Meynert's an Querschnitten ausgeführten Messungen besitzen die Nervenzellen der Kerne des

	grössten Durchmesser	kleinsten Durchmesser
Hypoglossus . . .	60 μ	21 μ
Facialis	60 μ	21 μ
Abducens	45 μ	15 μ
mot. Trigeminus .	60—75 μ	18—21 μ
Trochlearis und Oculomotorius . .	30—50 μ	15—25 μ

Es geht aus dieser Zusammenstellung hervor, dass die Nervenzellen des Hypoglossuskernes nicht grösser sind, als die des Facialis- und motorischen Trigeminuskernes, dass ferner die Nervenzellen des Abducenskernes die der Kerne der beiden anderen Augenmuskelnerven nicht an Grösse übertreffen.

Wurzeln sensibler oder gemischter Hirnnerven. Meine Beobachtungen auf diesem Gebiet beziehen sich bis jetzt nur auf den Opticus, Trigeminus und Vagus des Frosches, auf den Opticus, Trigeminus und Vagus des Menschen. Was den Opticus betrifft, so sind seine geringen Faserkaliber allgemein bekannt; es liegt bei der verhältnissmässig geringen Länge seiner Strecke in ihm kein Widerspruch gegen das Kalibergesetz sensibler Nervenfasern. Für den Trigeminus des Frosches fand ich als Maximum 9,9 μ, als häufigste Faserdicke 5,4—6,3 μ, für den Vagus desselben Thieres als Maximum 10,8 μ, als häufigste Dicke 7,2—9,9 μ. Beider Nerven Faserkaliber dürften also etwa im Verhältniss zu den Längen ihrer Strecken stehen, während bei Vergleichung dieser Hirnnerven mit den sensiblen Wurzeln der Rückenmarksnerven die Kaliber etwas zu stark für die Länge der Strecke ausfallen. Für die sensible Wurzel des menschlichen Trigeminus fand ich als Maximum der Faserdicke 10,8 μ, als Mittel 7,2 μ, für den Vagus als Maximum 16,2 μ; eine Mittelzahl liess sich hier

nicht geben, da alle Zahlen von 2,7 μ ziemlich gleichmässig vertreten waren. Hier ist also wieder deutlich der Einfluss der grösseren Nervenlänge ausgeprägt, wenn auch die für beide Hirnnerven gefundenen Werthe im Vergleich mit den Spinalnerven etwas zu hoch liegen.

Leider gestatten die wenigen mir bis jetzt vorliegenden Zahlen der Faserdicken sensibler Hirnnerven noch nicht, allgemeine Schlüsse zu ziehen, doch scheinen sie mir wenigstens so viel wahrscheinlich zu machen, dass die Kaliber der sensiblen Fasern der Hirnnerven viel mehr von der Faserlänge beeinflusst werden, viel mehr sich dem für die Spinalnerven gefundenen Kalibergesetz fügen, als die Fasern der motorischen Hirnnerven, unter denen besonders die der Augenmuskelnerven durch ihre unverhältnissmässig starken Kaliber ausgezeichnet sind.

II.

Veränderungen des Querschnitts der Nervenfasern im Verlauf.

Wiederholt habe ich angedeutet, dass man den Anfangsquerschnitt der motorischen und sensiblen Nervenfasern in den Wurzeln nicht ohne Weiteres für die ganze Länge der Nervenfasern gleichbleibend annehmen dürfe, dass vielmehr Aenderungen des Kalibers vorkommen, deren Gesetze ebenfalls festgestellt werden müssen.

Einzelne Angaben in der Literatur reden von unregelmässigen Schwankungen im Kaliber, der Art, dass „dickere und dünnere Stellen mit einander wechseln". So äussert sich z. B. Henle [1]) in seiner Nervenlehre. Ich habe bei meinen zahlreichen Isolationen mittelst der von mir beschriebenen Osmiumsäure-Macerationsmethode mich von derartigen Schwankungen des Kalibers nicht überzeugen können. Es dürften aber durch Ueberosmiumsäure gut fixirte Nervenfasern beweisender sein, als frisch durch Zerfasern isolirte, bei denen die leichte Verschiebbarkeit des Nervenmarks wohl leicht partielle Kaliberabnahme bezw. Zunahme bewirken kann. Auch S. Mayer [2]) spricht sich mit Entschiedenheit gegen die Existenz derartiger Kaliberschwankungen bei normalen Nervenfasern aus.

Anders steht es mit einer allmähligen Abnahme der Nervenfaser-

1) Nervenlehre. 2. Aufl. S. 3.

2) Ueber Vorgänge der Degeneration und Regeneration im unversehrten peripherischen Nervensystem. Prager Zeitschr. f. Heilkunde. Bd. II. S. 43 des Separatabdrucks.

kaliber nach Peripherie und Centrum. Hier kann ich die von früheren Forschern gemachten Angaben theils bestätigen, theils erweitern. Ich stelle im Folgenden die allerdings noch fragmentarischen Beobachtungen über die angedeutete Kaliberabnahme zusammen.

I. Abnahme der Faserkaliber nach der Peripherie.

Dass eine solche Abnahme des Querschnitts der Nervenfasern existirt, dürfte allgemein anerkannt sein. Henle macht bereits in seiner allgemeinen Anatomie [1]) eine hierher gehörige Bemerkung. Er findet, dass die Nervenfasern innerhalb der Muskeln etwas feiner werden. Bestimmter äussern sich Bidder und Volkmann.[2]) Sie fanden für den Oculomotorius des Hechtes, für den Trochlearis des Kalbes und einen Hautnerven des Frosches eine deutliche Abnahme der Faserkaliber an der Peripherie, also sowohl für motorische als sensible Fasern. Für eine solche Verfeinerung der motorischen und sensiblen Nervenfasern an der Peripherie spricht sich ferner Valentin [3]) aus. Auch Kölliker [4]) erkennt diese Abnahme der Faserkaliber an. Es ist nun in der That nicht schwer, sich von dieser Thatsache zu überzeugen; doch scheinen motorische und sensible Fasern auch hier nicht ganz übereinstimmende Verhältnisse zu zeigen. Ich halte es desshalb für zweckmässig, beide gesondert zu betrachten.

a) Motorische Nerven.

Meine Beobachtungen beziehen sich auf den Nerven des Brusthautmuskels vom Frosch und auf den elektrischen Nerven von Malapterurus.

Im Stamm des für den Brusthautmuskel bestimmten Nerven schwankten die Faserdicken von 10,0—12,5 μ. Die letzten markhaltigen Stellen der terminalen Fasern hatten nur noch 4,5—5,4 μ Durch-

1) S. 644.

2) l. c. p. 54.

3) Repertorium 1843. S. 130.

4) Die Selbständigkeit und Abhängigkeit des sympathischen Nervensystems. 1844. S. 25.

messer. Bei einem anderen Frosch zeigten die Nervenfasern des Stammes beim Eintritt in den Muskel noch dieselben Kaliber von 9,0 bis 10,8 μ, wie am Anfange des Stammes, sofort nach den Theilungen der Nervenfasern aber Durchmesser von 5,4 μ und darunter. Ueberhaupt zeigte sich, dass die ungetheilte motorische Nervenfaser ein gleichmässiges Kaliber beibehält, eine Abnahme des Kalibers erst die einzelnen Theiläste betrifft. Durch REICHERT's Untersuchungen[1]) wissen wir, dass der Nervenstamm des Brusthautmuskels vom Frosch aus 7—10 Fasern besteht und mit 290—340 terminalen Fasern endigt. Die Nervenfasern theilen sich in 2—3, seltener 4 oder 5 Theiläste so lange, bis aus jeder Stammfaser etwa 30 Fasern hervorgegangen sind. Die Abnahme der Faserkaliber in den Theilästen geschieht dabei aber meinen Untersuchungen zufolge nicht gleichmässig, sondern sprungweise und für die einzelnen Theiläste derselben Faser in verschiedenem Maasse. So bildet eine jede an der Theilungsstelle einer Nervenfaser gelegene RANVIER'sche Einschnürung gewissermaassen eine Stufe zwischen Faserkalibern verschiedenen Werthes. Beispielsweise führe ich an: 1) eine Nervenfaser von 6,8 μ theilte sich in 2 Zweige von 5,4 und 2,7 μ; 2) eine Nervenfaser von 8,1 μ theilte sich in 2 Zweige, von denen der eine 3,6 μ, der andere 5,4 μ Durchmesser besass. Letzterer theilte sich wiederum in 3 Zweige von 5,4, 3,6 und 2,7 μ Durchmesser.

Es fragt sich nun, — und dies scheint mir eine für die Nervenleitung nicht gleichgültige Frage — ob bei der Abnahme der Kaliber in Folge der Theilungen die Verdünnungen so beträchtlich sind, dass trotz wiederholter Theilungen dennoch eine Gesammtabnahme des Querschnitts der motorischen Nervenfasern resultirt, oder ob mit der Vermehrung der Zahl der Nervenfasern eine Vergrösserung des Gesammtquerschnitts Hand in Hand geht, der Art, dass die Summe der Querschnitte der einzelnen Zweige den Querschnitt der Stammfaser

1) Ueber das Verhalten der Nervenfasern bei dem Verlauf, der Vertheilung und Endigung in einem Hautmuskel des Frosches (Rana temporaria). MÜLLER's Archiv 1851. S. 29 ff.

übertrifft. Eine einfache Rechnung zeigt, dass Letzteres der Fall sein muss. Aus einer Faser von 12,5 μ (in maximo) Durchmesser gehen etwa 30 Fasern von 2,7 μ Durchmesser (in minimo) hervor. Wir haben also den Ansatz so ungünstig wie möglich für eine etwaige Zunahme des Gesammtquerschnitts genommen. Dennoch ergibt

$$\frac{12{,}5^2}{4} \cdot \pi = 122{,}499 \ \square\mu$$

und

$$\frac{2{,}7^2}{4} \cdot \pi = 5{,}6538 \ \square\mu,$$

also

$$30 \cdot 5{,}653 = 169{,}59 \ \square\mu.$$

Eine bedeutende Zunahme des Querschnitts der motorischen Bahn einer Nervenfaser in Folge wiederholter Theilungen ist desshalb unzweifelhaft. Noch viel auffallender zeigt sich diese Zunahme oft bei einer einzelnen Theilung. Oben wurde eine Faser erwähnt von 5,4 μ Durchmesser, die sich an einer Einschnürung in 3 von 5,4, von 3,6 und 2,7 μ Durchmesser theilt. Also Flächeninhalt

der Hauptfaser = 22,9 $\square\mu$
der 3 Theilfasern = 22,9
10,1
5,6

Summa = 38,6 $\square\mu$.

Es bedarf wohl keiner weiteren Zahlen, die Zunahme des Gesammtquerschnitts der motorischen Bahn trotz der Abnahme der Kaliber der Theiläste deutlich zu machen.

Ganz Aehnliches lehrt ein Studium der Verzweigungen des elektrischen Nerven von Malapterurus. Ich untersuchte dieselben an einem 47 ctm langen, vorzüglich in Alkohol conservirten Exemplar. Da Isolationen hier wegen der complicirten, von Bilharz und M. Schultze beschriebenen Scheide nicht leicht ohne Zerrungen und Kaliberveränderungen auszuführen waren, so maass ich den Durchmesser der elektrischen Nervenfaser an Querschnitten nach Erhärtung in Osmiumsäure und Alkohol. Da das Nervenmark aber eine sehr dünne, veränderliche Schicht darstellte, maass ich gleich den als gelbliche ellip-

tische Scheibe auf dem Querschnitt deutlich hervortretenden Axencylinder, dessen grössten Durchmesser ich beim Austritt des Nerven aus der Muskulatur zu 9,9 μ, dessen kleinsten zu 5,4 μ bestimmte. Nimmt man als mittleren Werth des Durchmessers 7,5 μ, so berechnet sich der Querschnitt zu 43,9 $\square\mu$. Diesen Durchmesser und Querschnittswerth behielt der Axencylinder der Stammfaser auf 16 ctm Länge bei. Innerhalb derselben Strecke wurden aber 14 makroskopische Seitenäste abgegeben, deren Axencylinder je 5,4 μ Durchmesser besassen. Es entspricht dies einem Querschnitt von 22,9 $\square\mu$. Die Summe der Querschnitte sämmtlicher 14 Seitenzweige beträgt somit 320,6 $\square\mu$, übertrifft also den Querschnitt der Stammfaser um mehr als das Siebenfache.

Für die motorischen Nerven gestalten sich somit die Veränderungen der Kaliber nach der Peripherie zu ziemlich einfach: 1) Die motorischen Fasern behalten gleiches Kaliber in der ganzen Strecke ihres Verlaufes bis zur ersten Theilung an der Peripherie. 2) Mit jeder Theilung der Nervenfaser findet eine Verfeinerung der Kaliber aller oder der meisten Theiläste statt. 3) Dieser Verfeinerung entspricht aber nicht eine Querschnittsabnahme der ganzen motorischen Bahn, sondern eine sehr bedeutende Querschnittszunahme, die um so beträchtlicher zu sein scheint, je häufiger sich die betreffende Nervenfaser theilt.

b) Sensible Nerven.

In Betreff der sensiblen Nerven sind meine Ermittelungen noch fragmentarischer Natur. Dass dieselben an der Peripherie feiner werden, ist leicht zu bestätigen. Es lässt sich aber zeigen, dass diese Verfeinerung, im Gegensatz zur motorischen Faser, schon der ungetheilten Nervenfaser zukommt. An den Hautnerven, welche den Rückenlymphsack des Frosches durchsetzen, gewinnt man leicht Objekte, welche eine solche Verfeinerung bereits innerhalb einer kurzen Strecke, nämlich vom Austritt aus der Muskulatur bis zur Verzweigung in der Haut, erkennen lassen. Beim Austritt aus den Muskeln waren die Nervenfasern eines solchen Hautnerven meist 7,2, einige bis 9,0 μ dick; in einer Entfernung von $5^1/_2$ mm von dieser Stelle, nämlich beim

Eintritt in die Haut, war der Durchmesser der meisten Fasern bis auf 3,6 μ, einiger nur bis 5,4 μ herabgesunken. Sie hatten also innerhalb dieser kurzen Strecke sich auf nahezu die Hälfte ihres Durchmessers verfeinert, was einer vierfachen Herabminderung ihres Querschnitts entsprechen würde. Von Theilungen war innerhalb dieser Strecke nichts wahrzunehmen. Sie hätten bei der angewandten Methode, der oben geschilderten Osmiumsäure-, Glycerin- und Salzsäure-Maceration, nicht übersehen werden können. Es geben also diese Hautnerven besonders beweisende Resultate, wenn es sich um Demonstrirung des hervorgehobenen Unterschiedes zwischen motorischen und sensiblen Nervenfasern handelt. Beide zeigen Verfeinerungen nach der Peripherie, die motorischen aber erst an den zahlreichen Theilfasern unter Querschnittszunahme der gesammten motorischen Nervenbahn; die sensiblen Fasern verschmälern sich dagegen schon vor der Theilung unter bedeutender Querschnittsabnahme der sensiblen Bahn! Unermittelt gelassen habe ich bisher das Verhalten der Theilfasern, welche aus den zuerst von Czermak für die Froschhaut nachgewiesenen zahlreichen Theilungen sensibler Nerven hervorgehen. Wahrscheinlich tragen diese Theilungen wieder zu einer Vergrösserung des Gesammtquerschnitts der sensiblen Bahn bei; doch sind noch genaue hierauf bezügliche Messungen abzuwarten. Sollte aber auch diese terminale Querschnittszunahme der sensiblen Fasern sich bestätigen, so bleibt doch für beide Faserarten bezeichnend genug der Unterschied bestehen, dass die sensiblen Fasern centripetal, also in ihrer physiologischen Leitungsrichtung sich verbreitern; die motorischen Fasern dagegen centrifugal bis zur ersten Theilung ihre Kaliber nicht verringern, von der Theilung an dagegen den Gesammtquerschnitt der Theiläste bis zur Endigung anwachsend zeigen. Es ist nicht in Abrede zu stellen, dass dies eine morphologische Verschiedenheit motorischer und sensibler Fasern bedeutet, eine Verschiedenheit, die sich allerdings nicht auf die feinere Textur, den inneren Aufbau, sondern auf die Gesammtgestalt der Nervenfasern erstreckt. Verschiedenheiten des feineren Baues habe ich ebensowenig wie meine Vorgänger finden können.

Ausser von den dorsalen Hautnerven des Frosches liegen mir noch Messungen der Kaliber anderer sensibler Nerven (Trigeminus des Menschen) vor, die ebenfalls eine Verfeinerung der Fasern nach deren peripherer Ausbreitung hin ergaben. Da sich aber hier eine Theilung der Fasern während des Verlaufes nicht ausschliessen liess, überdies die Fasern die verschiedensten Längen und damit von vornherein die verschiedensten Anfangsquerschnitte besitzen, so waren diese Ergebnisse für weitere Schlussfolgerungen nicht brauchbar.

II. Veränderungen der Faserkaliber nach dem Centrum zu.

Nur der Vollständigkeit wegen schliesse ich hier die wenigen Beobachtungen an, welche auf dieses dunkle Gebiet sich beziehen. Bekanntlich hat schon Deiters[1]), der Entdecker des Axencylinderfortsatzes der centralen Zellen, nachgewiesen, dass derselbe unmittelbar jenseits seines Ursprungskegels eine Verschmälerung zeigt, nach welcher dann der Fortsatz sich allmählig zum Axencylinder einer markhaltigen Nervenfaser verbreitert. Es würde dies also einer Verschmälerung der Nervenfaser nach dem Centrum entsprechen. Insofern es sich dabei um motorische Zellen handelt, wäre dies nur eine weitere Consequenz des Satzes, dass die motorische Bahn von der Peripherie nach dem Centrum an Querschnitt abnimmt, eine Querschnitts*zunahme* also in ihrer *Leitungsrichtung* zeigt. Ueber die Axencylinderfortsätze centraler sensibler Zellen gehen leider die Meinungen noch weit aus einander. Wir sind desshalb zunächst an die Ganglienzellen der Spinalganglien gewiesen. Für diese machen schon Key und Retzius auf eine Verbreiterung des einfachen, später sich in zwei theilenden markhaltigen Fortsatzes aufmerksam. Ich selbst habe mich an Macerationspräparaten, die mittelst meiner oben beschriebenen Methode gewonnen waren, von dieser Verbreiterung der Faser leicht überzeugen können. Ich fand an einer Zelle (vom Schaf) von dem Ursprung der markhaltigen Faser an bis zur Theilung eine Zunahme des Kalibers von 7,2 μ bis zu 15,3 μ; bei einer zweiten Zelle wuchs die Faserdicke in derselben Entfernung von 9,0 μ auf 18,0 μ.

1) l. c. Cap. III. Tafel I. Fig. 1a.

Auch die Spiralfaser der sympathischen Ganglienzellen des Frosches zeigt von der Zelle an gerechnet allmählig eine Verbreiterung. Mit Key und Retzius finde ich, dass sie zu einer ungetheilten markhaltigen Faser wird, also einem Axencylinderfortsatz entspricht.

Wir hätten also auch für nicht motorische (Spinalganglienzellenfortsätze) oder mindestens zweifelhafte (Spiralfasern) Nervenbahnen ebenfalls eine Kaliberabnahme bei Einsenkung in die centrale Ganglienzelle constatirt. Es würde dies einer Kaliberabnahme in der Leitungsrichtung gleichkommen, wenn wir über die Funktion der Spinal- und sympathischen Ganglien überhaupt nur im Klaren wären. Da dies nicht der Fall ist, müssen wir uns jeder weiteren Schlüsse daraus enthalten!

Die Kaliberverhältnisse der verästelten Fortsätze sind noch gänzlich unbekannt. Ich verzichte desshalb an diesem Orte auf ein näheres Eingehen und enthalte mich der Vermuthungen.

Anhang.

Ueber das Verhältniss der Axencylinderdurchmesser zum Durchmesser der Nervenfasern.

Sollen die von mir in dieser Schrift über die Kaliber der Nervenfasern mitgetheilten Thatsachen für die Physiologie der Nervenleitung vollkommen verwerthbar werden, so ist ein Eingehen auf die Frage, ob die Kaliber der Axencylinder denselben Schwankungen nach denselben Gesetzen unterworfen sind, wie die Kaliber der ganzen Nervenfasern, nothwendig. Leider ist eine exacte, zahlenmässige Beantwortung dieser Frage vorläufig mit den grössten Schwierigkeiten verknüpft, ja nahezu unmöglich. Gehen doch die Ansichten über die Natur des Axencylinders noch weit auseinander. Während die Einen ihn im frischen Zustande für eine leicht gerinnbare Flüssigkeit erklären, eine feinere Textur an ihm nicht finden, treten Andere mit grosser Entschiedenheit nach dem Vorgange M. Schultze's für eine Zusammensetzung aus Fibrillen ein. Das dürften aber wohl Alle, die sich mit der Axencylinderfrage beschäftigt haben, zugeben, dass der Axencylinder je nach der angewandten Methode eine sehr verschiedene Dicke zeigen kann. Dafür sprechen Fleischl's Mittheilungen [1]), dafür spricht Boll's [2]) leicht zu bestätigende Beobachtung der sogenannten federseelenartigen Gerinnung des Axencylinders. Es beweist letztere jedenfalls so viel, dass der Axencylinder in der fri-

1) Ueber die Beschaffenheit des Axencylinders. Beiträge zur Anatomie und Physiologie, Carl Ludwig gewidmet. Leipzig 1874. S. LI.

2) Ueber Zersetzungsbilder der markhaltigen Nervenfaser. Archiv f. Anat. u. Physiol. Anat. Abth. 1877. S. 288 ff.

schen Nervenfaser ein grösseres Kaliber besitzt, als in der abgestorbenen. Er geht durch ein Stadium zackiger Schrumpfung (Boll's federseelenartige Gerinnung) in den Zustand eines schmalen Bandes oder Cylinders über. Es scheint mir dies aber, was auch immer von scheinbar positiven Beobachtungen für die fibrilläre Struktur des Axencylinders vorgebracht sein mag, mit Entschiedenheit gegen eine solche Struktur zu sprechen. Ich habe mich vergeblich bemüht, durch Maceration in Reagentien, die sonst zur Isolirung von Fibrillen sehr geeignet sind, z. B. durch Ranvier'schen Alkohol 1/3, Fibrillen zu isoliren. Eine Isolation solcher Fibrillen muss aber, wenn ihr Nachweis beweisend sein soll, verlangt werden. Man berufe sich nicht auf die Remak'schen sympathischen Fasern, auf die Olfactoriuselemente. Hier haben wir es nicht mit einfachen Axencylindern, sondern mit Bündeln feinster Axencylinder zu thun; jede sogenannte Fibrille ist hier ein feiner Axencylinder, dessen geringes Kaliber aus dem kurzen Wege, den er zurückzulegen hat, verständlich wird. Eine Isolation dieser feinen Axencylinder gelingt leicht genug.

Es ist hier nicht der Ort, weiter auf dies schwierige Gebiet einzugehen. Für unsere Zwecke genügt es, auf die Veränderlichkeit der Axencylinderkaliber hingewiesen zu haben, um zu begreifen, dass es uns weder an gefärbten Querschnitten, noch an isolirten Axencylindern möglich ist, den wahren Werth des Axencylinderkalibers zu bestimmen. Liegt doch sogar die Möglichkeit vor, dass der Axencylinder durch das erhärtende Agens in allen Phasen seiner Retraction fixirt werden kann. Es ist somit durchaus nicht nöthig, dass alle Axencylinder eines Querschnitts das gleiche Retractionsstadium zeigen. Gleich dicke Fasern werden desshalb bald dünne, bald dicke Axencylinder besitzen können, wie man an jedem Querschnitt durch ein in Müller'scher Lösung und Alkohol erhärtetes Rückenmark wahrnehmen kann. Ich theile zur Erläuterung eine Reihe von Messungen am menschlichen Rückenmark mit, nach den Durchmessern der ganzen Fasern (in μ) geordnet.

Dm. Ganze Faser	Dm. Axencylinder	Verhältniss
7,2	0,9	1 : 8,0
7,2	1,8	1 : 4,0
7,2	3,6	1 : 2,0
8,1	3,1	1 : 2,6
9,0	3,6	1 : 2,5
9,0	4,5	1 : 2,0
10,8	1,8	1 : 6,0
10,8	2,7	1 : 4,0
10,8	5,4	1 : 2,0
12,6	3,6	1 : 3,5
12,6	4,0	1 : 3,1
12,6	4,5	1 : 2,5
12,6	5,4	1 : 2,3
14,4	4,5	1 : 3,1
18,0	6,3	1 : 2,8
21,6	8,1	1 : 2,6
23,4	5,4	1 : 4,3

Es genügt ein Blick auf diese Zahlen, um zu zeigen, wie verschieden bei gleich dicken Fasern an erhärteten Präparaten der Werth des Axencylinderdurchmessers ausfallen kann. Dazu kommt dann noch die grosse Unsicherheit von Querschnittsmessungen der Axencylinder überhaupt. Feine Kaliberunterschiede der feinsten sind durch Messung nicht zu bestimmen; ja selbst bei den grösseren hat man Mühe genug, bis auf $^1/_2$ Theilstrich des Ocularmikrometers den Durchmesserwerth festzustellen. So scheint denn aus den angeführten Gründen jeder Versuch, die wahren Kaliberverhältnisse der Axencylinder zu ermitteln, vergeblich. Trotz aller dieser Schwierigkeiten lässt sich Eins aber unbestreitbar erkennen: die dicksten Axencylinder finden sich am häufigsten in dicken Fasern, die dünnsten in den feinsten. Es werden also die Axencylinder im Allgemeinen wenigstens von denselben Kaliberschwankungen befallen, wie die ganzen Nervenfasern, wenn auch aus den angeführten Gründen eine strenge Proportionalität nicht nachgewiesen werden kann. Mit diesem Resultat müssen wir uns vorläufig

begnügen und deuten es, so unbestimmt es auch noch lautet, uns günstig für die Verwerthung des oben aufgestellten Kalibergesetzes auf physiologischem Gebiet. Möglichenfalls gelingt es durch Messung des Durchmessers der Ranvier'schen Einschnürungen bei feinen und groben Fasern, sicherere Auskunft über die wahren Kaliberverhältnisse der Axencylinder zu gewinnen. Was ich bisher darüber ermittelte, bezieht sich auf die mittelst meiner Osmiummacerationsmethode isolirten Nervenfasern aus dem N. spinalis II vom Frosch. Die gefundenen Zahlen waren (in μ):

Nummer	Dm. Ganze Faser	Dm. der Einschnürungen	Verhältniss
1	6,3	1,8	1 : 3,5
2	8,1	1,8	1 : 4,5
3	8,1	1,8	1 : 4,5
4	9.0	4,5	1 : 2,0
5	10,8	4,05	1 : 2,6
6	12,6	4,95	1 : 2,5
7	13,5	5,4	1 : 2,5
8	14,4	3,6	1 : 4,0
9	17,1	5,4	1 : 3,1

Diese Messungen sind allerdings noch nicht zahlreich genug, um daraus allgemeine Schlüsse zu ziehen; sie lehren nur, dass im Allgemeinen dickeren Fasern auch dickere Ranvier'sche Einschnürungen zukommen, wenn auch einzelne Unregelmässigkeiten sich einstellen. Ein Theil derselben ist zweifellos dadurch bedingt, dass einige der Ranvier'schen Einschnürungen sicher mit einer dünnen Marklage versehen sind. An Osmiumsäurepräparaten, die nach meiner Methode gewonnen sind, kann man sich davon leicht überzeugen. Derartige Fasern geben also zu hohe Werthe für die Axencylinder. In den 9 von mir mitgetheilten Messungen gehören hierher No. 5 und No. 7. — Sodann ist zu bemerken, dass die Differenzen der Dicke der Einschnürungen feinerer Fasern schwer festzustellen sind. Es dürften sich so die gleichlautenden Werthe für die Einschnürung in Fall 1—3 erklären.

Eine andere Frage ist es, ob die Verfeinerung der Nervenfasern nach der Peripherie durch Abnahme des Nervenmarks allein oder durch Verfeinerung des Axencylinders und Nervenmarks zusammen erklärt werden soll. Für die motorischen Fasern ist diese Frage aber insofern müssig, als bei Abnahme des Nervenmarks erst recht eine Zunahme des Querschnitts der leitenden Theile der motorischen Faser zur Geltung käme. In der That scheint hier eine Verdünnung der Markschicht vorzukommen. Dieselbe ist aber nicht so bedeutend, dass die gesammte Verfeinerung ihr zuzuschreiben wäre. Es geht dies aus folgender Rechnung hervor. Der Axencylinder einer motorischen Faser des Brusthautmuskels vom Frosch maass an der Stelle einer RANVIER'schen Einschnürung 4,5 μ bei 10,0 μ Gesammtdicke der Nervenfaser. Die Gesammtdicke einer terminalen Nervenfaser war 4,5 μ, also trotz Markgehalts nicht bedeutender, als der Durchmesser jener RANVIER'schen Einschnürung ohne Mark. Es ist dieser Befund wohl nicht anders, als unter Abnahme auch des Axencylinderkalibers zu verstehen.

Ueber das Verhalten der Axencylinder bei der peripheren Verfeinerung sensibler Fasern besitze ich keine Erfahrungen. Dass dagegen die oben beschriebene Verfeinerung der Nervenfasern bei Einsenkung in ihre Ganglienzellen dem Axencylinder zukommt, hat bereits DEITERS für den Axencylinderfortsatz der motorischen Ganglienzellen des Rückenmarks demonstrirt. Für die mit den Spinalganglienzellen sich verbindenden Nervenfasern folgt dasselbe aus der Vergleichung der Dicke des nächsten Schnürrings mit der Dicke des cellulären Endes der betreffenden noch markhaltigen Nervenfaser. Erstere ist hier bedeutender.

Ich schliesse hiermit diesen Aufsatz, in welchem ich bewiesen zu haben glaube, dass Zahlenangaben über Dimensionen mikroskopischer Formbestandtheile nicht so ganz werthlos sind, als es von vornherein erscheinen möchte, dass die Dimensionen dieser Formelemente nicht willkürlich schwanken, sondern, wie die Form, bestimmten Gesetzen unterworfen sind.

Druck von J. B. Hirschfeld in Leipzig.